

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

М.С. Барабаш, С.В. Козлов, Д. В. Медведенко

КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ
МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як
навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які
навчаються за напрямом підготовки «Будівництво»*

Київ 2012

УДК 624.04:624.014:004.42 (075.8)

ББК Н540-02с51я7

Б24

Рецензенти:

О.В. Шимановський – д-р техн. наук, проф (ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського»);

О.С. Городецький - д-р техн. наук, проф (Науково-дослідний інститут будівельного виробництва),

О.І. Давиденко - д-р техн. наук, проф. (Донбаський державний технічний університет, кафедра будівельних конструкцій),

А.І. Лантух-Лященко - д-р техн. наук, проф. (Національний транспортний університет);

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

(лист № 1/11-1378 вид 18.02.11

Барабаш М.С.

Б24 Комп'ютерні технології проектування металевих конструкцій: Навчальний посібник /М.С. Барабаш, С.В. Козлов, Д.В. Медведенко.. – К.: НАУ, 2012. – 572 с.

ISBN 978-966-598-770-3

У посібнику викладені технології і методи комп'ютерного моделювання, розглянуті питання автоматизованого розрахунку та конструювання будівельних металевих конструкцій в програмному комплексі ЛРА-САПР. Розглянуті приклади розрахунків вручну та показані засоби побудови розрахункових скінченно-елементних моделей конструкцій, що розглядаються в курсовому проектуванні будівельних вищих навчальних закладів, а саме балкової клітки та одноповерхової виробничої будівлі. Виконано аналіз та порівняння отриманих результатів розрахунків класичними методами та з використанням програмних комплексів.

Для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Будівництво».

УДК 624.04:624.014:004.42 (075.8)

ББК Н540-02с51я7

ISBN 978-966-598-770-3

© Барабаш М.С., Козлов С.В.,
Д.В. Медведенко, 2012

ЗМІСТ

Передмова	9
Вступ	11

РОЗДІЛ 1. МЕТОДИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКЦІЙ 14

1.1. Короткий історичний нарис розвитку комп'ютерних технологій та систем автоматизованого проектування	14
1.2. Сучасні розрахункові комплекси і системи конструювання	19
1.2.1. <i>Вимоги до сучасних програмних комплексів</i>	19
1.2.2. <i>Застосування комп'ютерних технологій при проектуванні металевих конструкцій</i>	31
1.2.3. <i>Напрями розвитку комп'ютерних технологій</i>	34
1.3. Основні принципи моделювання металевих конструкцій	35
1.4. Особливості реалізації автоматизованих розрахунків металевих конструкцій з врахуванням нелінійності.	38
1.5. Загальні положення проектування металевих конструкцій в сучасних комп'ютерних програмах	44
1.5.1. <i>Найбільш ефективні інструменти, що використовуються при моделюванні розрахункових схем будівельних конструкцій</i>	53
1.5.2. <i>Можливості конструювання елементів конструкцій та їх вузлів</i>	55
1.6. Основи автоматизованого розрахунку стержневих елементів металевих конструкцій	61
1.6.1. <i>Вихідні дані для розрахунку</i>	65
1.6.2. <i>Конструктивні і уніфіковані елементи</i>	79
1.6.3. <i>Розрахунок елементів металевих конструкцій та аналіз результатів</i>	81
1.7. Основи автоматизованого розрахунку вузлів конструкцій	86
1.7.1. <i>Вихідні дані для розрахунку вузлів</i>	87
1.7.2. <i>Розрахунок вузлів та аналіз результатів</i>	90
1.8. Деякі аспекти про зміни користувальницького інтерфейсу ПК ЛІРА-САПР	94
<i>Статичний і динамічний розрахунок, підбір арматури й розрахунок сталевих перерізів</i>	109
1.9. Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи	112

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ БАЛКОВОЇ КЛІТКИ ВИРОБНИЧОЇ БУДІВЛІ ЗАСОБАМИ ПК ЛІРА-САПР 114

2.1. Загальні положення	114
2.2. Компонування конструктивної схеми балкової клітки у програмному комплексі	117
2.3. Розрахункова схема головної балки і визначення зусиль	118
2.3.1. Створення нової задачі	119
2.3.2. Створення геометричної схеми балки	119
2.3.3. Задання граничних умов	120
2.3.4. Задання жорсткостних характеристик	122
2.3.5. Задання навантажень	125
2.3.6. Перегляд і аналіз результатів розрахунку	128
2.4. Підбір або перевірка перерізів зварної головної балки складеного перерізу	129
2.4.1. Задання додаткових характеристик для елементів	130
2.4.2. Призначення конструктивних елементів	132
2.4.3. Аналіз результатів підбору і перевірки несучої здатності балки	133
2.5. Розрахунок другорядних балок і колон	142
2.6. Приклад розрахунку перерізу балки з одним прогоном в локальному режимі роботи програми СТК-САПР	144
2.6.1. Результати розрахунку	148
2.7. Розрахунок поясних з'єднань	150
2.8. Компонування просторової схеми балкової клітки	156
2.8.1. Вихідні дані. Розрахункова схема балкової клітки.	156
2.9. Визначення зусиль і їх розрахункових сполучень	157
2.9.1. Створення геометричної схеми	158
2.9.2. Задання жорсткісних характеристик	163
2.9.3. Задання навантажень	167
2.9.4. Генерація таблиці розрахункових сполучень зусиль	168
2.10. Підбір або перевірки перерізів конструктивних елементів	169
2.10.1. Призначення конструктивних елементів	174
2.10.2. Уніфікація скінченних елементів	175
2.10.3. Задання розкріплення для розрахунку прогинів	176
2.10.4. Перевірка призначених перерізів	176
2.11. Розрахунок і конструювання вузла сполучення балок	179

2.11.1. Розрахунок простого вузла	179
2.11.2. Конструювання складного вузла	185
2.12. Розрахунок бази колони в СТК-САПР	187
2.13. Автоматизоване виконання креслень	194
2.13.1. Підготовка робочих креслень металевих конструкцій за допомогою КМ-САПР	194
2.13.2. Тривимірний модель	197
2.13.3. Склад моделі	202
2.13.4. Імпорт моделі	203
2.13.5. Редагування моделі	206
2.13.6. Створення креслень	208
2.13.7. Створення таблиць	211
2.13.8. Адаптація ЛІРА-КМ	213
2.13.9. Отримання креслень будинку чи споруди	214
2.13.10. Створення відомості елементів	224
2.13.11. Генерація креслень вузлів	228
2.13.12. Створення специфікації металу	235
2.13.12. Підготовка і друк креслень	244
2.14. Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи	249

РОЗДІЛ 3. АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ОДНОПОВЕРХОВОЇ ПРОМИСЛОВОЇ БУДІВЛІ 251

3.1. Загальні положення	251
3.2. Компонування поперечної рами та проектування схеми каркасу. Навантаження на поперечну раму	252
3.3. Розрахункова схема поперечної рами, визначення зусиль та їх розрахункових сполучень. Статичний розрахунок рами	257
3.3.1. Створення геометричної схеми поперечної рами	258
3.3.2. Задання граничних умов	265
3.3.3. Задання жорсткісних характеристик	266
3.3.4. Задання навантажень	273
3.3.5. Формування розрахункових сполучень зусиль	283
3.3.6. Перегляд і аналіз результатів розрахунку	289
3.4. Розрахунок та конструювання конструктивних елементів поперечної рами. Підбір або перевірка перерізів.	293
3.4.1. Перевірка елементів ферми	294
3.4.2. Перевірка нижньої частини колони	297

3.4.3. <i>Перевірка і підбір верхньої частини колони</i>	301
3.5. <i>Документування результатів розрахунку</i>	306
3.5.1. <i>Друк звіту</i>	307
3.5.2. <i>Використання графічного контейнера</i>	308
3.6. <i>Проектування одноповерхової промислової будівлі у просторовій постановці</i>	310
3.7. <i>Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи</i>	324

РОЗДІЛ 4. ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ БАЛКОВОЇ КЛІТКИ ТА СТАЛЕВОГО КАРКАСУ ОДНОПОВЕРХОВОЇ ВИРОБНИЧОЇ БУДІВЛІ ТРАДИЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ

4.1. <i>Приклад розрахунку елементів балкової клітки виробничої будівлі</i>	326
4.1.1. <i>Загальні положення проектування балкових кліток</i>	326
4.1.2. <i>Компонування конструктивної схеми перекриття</i>	327
4.1.3. <i>Розрахунок настилу і допоміжних балок</i>	328
4.1.4. <i>Розрахунок головної балки</i>	335
<i>Визначення навантаження на головну балку</i>	335
<i>Визначення розмірів перерізу головної балки</i>	336
4.1.5. <i>Розрахунок центрально – стисненої колони</i>	363
<i>Визначення навантажень на колону</i>	364
<i>Розрахунок стержня суцільної колони</i>	365
<i>Розрахунок стержня наскрізної колони</i>	369
4.2. <i>Приклад розрахунку поперечної рами однопролітної промислової будівлі</i>	388
4.2.1. <i>Компонування поперечної рами та проектування схеми каркасу</i>	388
4.2.2. <i>Навантаження на поперечну раму</i>	391
4.2.3. <i>Складання розрахункової схеми і визначення зусиль в перерізах поперечної рами</i>	401
4.2.4. <i>Розрахунок та конструювання колони каркасу</i>	409
4.2.5. <i>Розрахунок ферми</i>	432
4.3 <i>Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи</i>	443

РОЗДІЛ 5. ПРИКЛАДИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЕЯКИХ СКЛАДНИХ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

5.1. <i>Конструктивні схеми великопрольотних покриттів</i>	445
--	-----

5.1.1. Вантові і мембранні конструкції. Загальні положення	445
5.1.2. Моделювання каркасної будівлі з висячим сітчастим покриттям	446
5.2. Металоконструкції аروحного типу	455
5.2.1. Загальні положення	455
5.2.2. Особливості задання геометрії скінченно-елементних моделей арок	455
5.2.3. Визначення вітрових і снігових навантажень	459
5.2.4. Розрахункова схема арки, визначення зусиль і їх розрахункових поєднань	463
5.2.5. Підбір або перевірка сталевого перерізу арки	464
5.2.6. Розрахунок стійкості арки	465
5.3. Висотні інженерні споруди	466
5.3.1. Розрахунок металевої вежі	467
5.3.2. Розрахунок щогли в геометрично нелінійній постановці	489
Список рекомендованої літератури	519
Додаток 1. Формули розрахунку елементів конструкції програмою ЛІР-СТК	524
Центрально-розтягнені та центрально-стиснені елементи	524
Елементи під дією згинаючих моментів	524
Елементи під дією осьової сили та згинаючих моментів	527
Канати	528
Додаток 2. Відповідність об'єктів моделі ЛІРА-КМ та об'єктів AutoCAD	529
Додаток 2. Відповідність об'єктів моделі ЛІРА-КМ та об'єктів AutoCAD (продовження)	530
Додаток 2. Відповідність об'єктів моделі ЛІРА-КМ та об'єктів AutoCAD (закінчення)	532
ДОДАТОК 3.	533
ОПИС СТРІЧКОВОГО ІНТЕРФЕЙСУ ПК ЛІРА-САПР	533
ЕЛЕМЕНТИ СТРІЧКОВОГО ІНТЕРФЕЙСУ	534
СТРІЧКОВИЙ ІНТЕРФЕЙС ПК ЛІРА-САПР	2012
СКЛАДАЄТЬСЯ З ТАКИХ ПУНКТІВ:	534
Меню «Програми»	536

Вкладка «Створення та редагування»	542
Вкладка «Розширене редагування»	556
Вкладка «Розрахунок»	561
Вкладка «Аналіз»	566
Вкладка «Розширений аналіз»	573
Вкладка «Конструювання»	578
Контекстна вкладка «Робота з вузлами»	588
Контекстна вкладка «Робота зі стрижнями»	591
Контекстна вкладка «Робота з пластинами»	594
Панель інструментів «Вибір»	596
Панель інструментів «Обертання»	598

Передмова

Зміст навчального посібника відповідає програмам курсів «Комп'ютерні технології проектування конструкцій будинків та споруд», «Комп'ютерні технології проектування спеціальних конструкцій», «Металеві конструкції», «Основи САПР», «Комп'ютерні технології в будівництві», що викладаються у будівельних навчальних закладах для студентів спеціальності "Промислове та цивільне будівництво", а також галузевому стандарту вищої освіти України підготовки бакалаврів, магістрів та спеціалістів за напрямом 0921 - "Будівництво". Крім того, навчальний посібник може використовуватись для підготовки студентів за іншими напрямками у вищих навчальних закладах будівельного та загально технічного профілю.

У навчальному посібнику наведені окремі відомості про металеві конструкції, властивості матеріалів, що використовуються в них, основи розрахунку і конструювання елементів металевих конструкцій та їхніх з'єднань. На конкретних прикладах розглянуті питання проектування найпоширеніших у практиці металевих балок, колон і ферм, з яких компонується різні за конструктивними рішеннями сталеві каркаси. У сучасних підручниках та навчальних посібниках для вищих навчальних закладів за дисципліною «Металеві конструкції» матеріал викладається у класичному вигляді на основі інженерних методів розрахунку і практично не приділяється уваги особливостям розрахунку металевим конструкціям (МК) з використанням існуючих програмних комплексів (ПК).

Основна мета даного навчального посібника полягає у викладенні технологій математичного моделювання і чисельних розрахунків металевих конструкцій. Для досягнення цієї мети за основу взято найпростіші конструкції, які розраховуються при виконанні першого і другого курсових проектів з металоконструкцій. Розрахунки виконуються традиційно вручну та з використанням поширеного програмного комплексу ЛІРА-САПР. При аналізі результатів розрахунків розглядаються різні спрощення, що введені при ручному розрахунку, причини відмінностей, можливе вдосконалення розрахункових моделей і

таке інше. Такий підхід, на думку авторів, допоможе студентам, а також інженерам при синтезі та аналізі комп'ютерних моделей, весь час маючи на увазі фізичний зміст та інженерне розуміння суті отриманих результатів. Навчальний посібник складається з п'яти розділів та додатків. Усі розділи посібника супроводжуються прикладами розрахунків, що дозволяє рекомендувати його також для широкого кола читачів: студентів будівельних і транспортних факультетів, інженерно-технічних працівників, аспірантів і наукових співробітників, які спеціалізуються у питаннях розрахунку і проектування металевих конструкцій а також реконструкції будівель і споруд.

Автори висловлюють вдячність директору Українського науково-дослідного і проектно-вишукувального інституту «УкрНДІводоканалпрект», професору, доктору технічних наук Олександрю Івановичу Оглоблі, завідувачу кафедри «Металевих та дерев'яних конструкцій», професору, доктору технічних наук Білику Сергію Івановичу, а також співробітникам відділу супроводу програмних комплексів сімейства ЛПА, без кваліфікаційної допомоги яких видання посібника було б неможливим.

Поліпшенню змісту рукопису значною мірою сприяли зауваження і поради рецензентів – доктора технічних наук, професора Шимановського Олександра Віталійовича, доктора технічних наук, професора Городецького Олександра Сергійовича, доктора технічних наук, професора Давиденко Олександра Івановича, доктора технічних наук, професора Лантух-Лященко Альберта Івановича, більша частина яких була врахована при підготовці остаточного варіанту рукопису. Їм автори висловлюють свою щиру вдячність.

Вступ

В даний час нагальною потребою для майбутніх інженерів стає оволодіння комп'ютерними технологіями розрахунку та проектування металевих конструкцій. Але практично відсутні навчальні посібники з виконання першого і другого курсових проектів з металевих конструкцій із застосуванням програмних комплексів. В той же час, практично всі проектні роботи, виконуються з використанням комп'ютерних технологій. У представленому посібнику викладаються методи проектування балкової клітки, одноповерхової виробничої будівлі та деяких спеціальних металевих конструкцій на основі програмного комплексу ЛПА-САПР, який широко розповсюджений як в наукових дослідженнях, так і в інженерній практиці. Ніде раніше в літературі не описувалась спеціалізована підсистема КМ-САПР. КМ-САПР дозволяє в автоматизованому режимі одержувати робочі креслення КМ (маркувальні схеми, відомості елементів, вузли, специфікації). На відміну від численних графічних систем (AdvanceSteel, StruCad, Vocad, RealSteel і багато інших) орієнтованих тільки на автоматизацію графіки при проектуванні металевих конструкцій, технологічна послідовність ВІЗОР-САПР → СТК-САПР → КМ-САПР дозволяє розрахувати, підібрати (перевірити) і уніфікувати перерізи металевих елементів і конструкції вузлів з подальшим отриманням специфікацій і креслень КМ. Цей унікальний інструмент достатньо детально описаний в навчальному посібнику, що пропонується.

Досвід засвідчує, що відсутність методики викладання комп'ютерних технологій проектування металевих конструкцій в цілому негативно позначається на учбовому процесі, курсовому і дипломному проектуванні, а також на роботі випускників вузів на виробництві. Автори зробили спробу ліквідувати цей недолік. Навчальний посібник написано в тісному співробітництві з розробниками програмного комплексу, з урахуванням усіх нюансів використання програмного комплексу для вирішення задач проектування поширених металевих конструкцій.

Навчальний посібник складається з 5 розділів і додатків. Перший та другий розділ написані Барабаш М.С. та Медведенко

Д.В., третій розділ написаний Барабаш М.С., четвертий розділ написаний Козловим С.В., п'ятий розділ написаний Барабаш М.С.

У першому розділі розглядаються питання стосовно загальних принципів автоматизованого проектування та загальних положень проектування металевих конструкцій із застосуванням комп'ютерних технологій.

Розділ 2 містить короткий виклад технології підготовки моделей конструкцій в середовищі ПК ЛІРА-САПР (достатнє для того, щоб студент міг самостійно освоїти наданий матеріал). Послідовно викладаються прийоми візуалізації результатів розрахунку, їх аналіз і способи автоматичної генерації документації, яка містить результати розрахунку. Цікавим є те, що модель, що розглядається в цьому розділі повністю відповідає розрахунковій схемі, що розраховується вручну в четвертому розділі. Проведено аналіз результатів перевірки і підбору перерізів металевих елементів, можливих при цьому похибок. Також детально описані принципи конструювання вузлових з'єднань і питання створення робочої документації автоматизованим способом.

Розділ 3 включає розрахунок металевих конструкцій одноповерхових виробничих будівель за курсовим проектом №2 «Одноповерхові промислові будівлі з кранами». Описується процес компоновки рами, збір навантажень, статичний розрахунок поперечної рами промислової будівлі, засоби врахування особливо небезпечних розрахункових сполучень зусиль, підбор перерізів основних конструктивних елементів. Розрахунок виконується в рамках курсового проекту, який входить до складу освітніх програм більшості будівельних вищих навчальних закладів. Навички, що отримані студентом при виконанні даного курсового проекту, успішно використовуються і при розрахунках цивільних будівель, що мають в основі конструктивної схеми поперечну раму. Розрахунок поперечної рами є вельми поширеною задачею і в практиці робочого проектування. Всі автоматизовані розрахунки виконані у повній відповідності з матеріалом, викладеному у розділі 4, про що свідчить підрозділ, присвячений аналізу результатів розрахунку.

Розділ 4 присвячений питанням проектування елементів балкової клітки виробничої будівлі та рами одноповерхової виробничої будівлі традиційними методами. Включає питання

визначення навантажень, розрахунку основних несучих конструкцій балкової клітки, визначення та підбору перерізів. В цьому розділі наведені спрощені приклади, які дають можливість студентам самостійно, або під керівництвом викладача засвоїти питання розрахунку такого типу конструкцій вручну, і в більшій мірі вникнути у фізичну сутність роботи металевих конструкцій, чому сприяє проведена оцінка збіжності результатів розрахунку.

Розділ 5 надає загальні положення комп'ютерного моделювання спеціальних металевих конструкцій, таких як вантові та мембранні конструкції, які є досить поширеними у сучасному будівництві, арочних конструкцій, моделювання висотних споруд з врахуванням геометричної нелінійності.

При написанні посібника враховуються усі діючі нормативні документи. Виконуючи роль навчального посібника, книга містить багато визначень, термінів і понять, що відносяться до математичної моделі програмного комплексу – методу скінченних елементів і автоматизації проектування.

Щоб полегшити пошук потрібної інформації, автори користувалися декількома прийомами виділення тексту, перш за все, шрифтами. Команди ПК ЛПА-САПР і їх опції виділяються в тексті напівжирними рядковими буквами шрифту без зарубок. Таким же шрифтом виділені в тексті назви спадаючих меню, діалогових вікон і інших управляючих елементів. Застосовані спеціальні розділові знаки для однотипних частин тексту, наступних одна за одною. Дуже часто в ПК ЛПА-САПР для здійснення якої-небудь операції потрібна виконати декілька команд, декілька кроків. У переліку дій, необхідних для виконання операції, ми використовуємо символи, що позначають черговий крок, команду, операцію.

Наприкінці аргументуємо, чому посібник присвячено саме програмному комплексу ЛПА-САПР. Однією з причин є той факт, що цей програмний комплекс є одним з найбільш поширених програмних комплексів на території країн СНГ, по-друге у цьому програмному комплексі реалізовано всі норми ДБН та Єврокоду і по третє – ПК ЛПА-САПР поставляється у всі вищі навчальні заклади у комплекті ACADEMICset, що включає мережеву ліцензію на 20 робочих місць та локальне місце викладача.

РОЗДІЛ 1. МЕТОДИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКЦІЙ

1.1. Короткий історичний нарис розвитку комп'ютерних технологій та систем автоматизованого проектування

Термін «комп'ютерні технології» або «інформаційні технології» – це узагальнена назва технологій, що відповідають за зберігання, передачу, обробку, захист і відтворення інформації з використанням комп'ютерів.

Застосування комп'ютерів в інженерній справі почалося наприкінці 50-х років, відразу ж після того, як перші комп'ютери стали доступні окремих інженерам. У будівельному проектуванні такими першими користувачами комп'ютерів стали найбільш мобільні в інтелектуальному сенсі фахівці: інженери які виконували розрахунки статично-невизначених систем, пов'язані з рішенням систем рівнянь високих порядків.

По суті, до появи комп'ютерів більшість методів і прийомів будівельної механіки зводилося до пошуків різних спрощень (метод Кроса, метод перерозподілу початкових кутів повороту, метод пружного центру та ін.) Поява інструменту, який вирішує цю проблему відразу ж привернуло увагу інженерів, що виконували розрахунки конструкцій, використовуючи спрощені методи, спрощені розрахункові схеми. У 1950 р. фахівцями, що працювали в галузях будівельної механіки і теорії пружності, був розроблений метод скінченних елементів (МСЕ). У 1963 р. був запропонований порівняно простий спосіб застосування МСЕ для аналізу міцності шляхом мінімізації функціонала потенційної енергії (варіаційні методи). З'явилися програмно-методичні комплекси для аналізу і моделювання на основі МСЕ.

Після того, як з'явилася можливість вирішення систем рівнянь великих порядків, виявилось, що їх складання теж проблема вельми громізка. Таким чином, автоматизація вирішення задач будівельної механіки і прилеглих до неї завдань на перших етапах прямувала по шляху отримання ефективних процедур машинного вирішення найбільш трудомістких частин:

- дискретизація об'єкту шляхом розбиття на скінченні елементи;
- введення інтерполяційних функцій, тобто апроксимація змінних всередині одного скінченного елемента через значення змінних в обраних опорних точках елемента (вузлах);
- складання матриць жорсткості для кожного елемента;
- об'єднання цих матриць в єдину систему лінійних рівнянь для об'єкту, що розглядається;
- вирішення систем рівнянь;
- визначення зусиль;
- складання розрахункових сполучень зусиль;
- підбір перерізів залізобетонних елементів;
- підбір перерізів сталевих елементів;
- подальший розвиток (нелінійні задачі, конструювання, графіка та ін).

У 1965 р. компанія NASA для підтримки проектів, пов'язаних з космічними дослідженнями, ставить задачу розробки скінченно-елементного програмного комплексу. До 1970 р. такий пакет під назвою NASTRAN (NAsa STRuctural ANalysis) був створений і почав експлуатуватися. Вартість розробки, що продовжувалася 5 років, склала 3-4 млн. доларів. Однією з компаній, що брали участь в розробці, була MSC (MacNeal-Schwendler Corporation). З 1973 р. MSC (з 1999 р. компанія називається MSC Software Corporation) самостійно продовжує розвивати пакет MSC.NASTRAN, який став світовим лідером в своєму класі продуктів.

З 1975 року почалась розробка системи програм CORSAR (комп'ютерна система аналізу просторових проблем), система SAP, що послужила розвитку програмного комплексу SAP 2000.

У 1976 р. розроблений комплекс DYNA3D (пізніше названий LS-DYNA), призначений для аналізу ударно-контактних взаємодій структур, що деформуються.

У той же час (кінець 50-х – початок 60-х років) на території колишнього СРСР утворилися три школи, де найбільш інтенсивно розроблялися комп'ютерні технології:

- Московська школа Резнікова (Р. О. Резніков, Л. С. Якобсон, В. С. Лавітман та ін), основний напрямок - розрахунок стержневих систем на основі методу сил.
- Київська школа Вайнберга (Д. В. Вайнберг, Ю.В. Верюжський, А. С. Сахаров, А. Л. Синявський та ін), основний напрямок - розрахунок пластинчатих систем на основі варіаційно-різницевого методів.
- Київська школа Сосіса (П. М. Сосіс, Л. Г. Дмитрієв, А. С. Городецький та ін), основний напрямок - розрахунок стержневих і пластинчастих систем в переміщеннях на основі стержневих апроксимацій.

У 1963 році на Першій Всесоюзній нараді із застосування електронних цифрових обчислювальних машин, (ЕЦОМ) в будівельній механіці в Ленінграді було зроблено повідомлення, в якому розглядалася програма для розрахунку фізично-нелінійних систем. Програма була проста у використанні і містила всі необхідні елементи програм масового використання. Ця програма ґрунтувалася на методі переміщень. Для вирішення нелінійних завдань використовувався кроковий метод, для розрахунку пластинчастих систем використовувалися прийоми стержнєвої апроксимації. Пластини розчленовувалися на окремі осередки скінченних елементів, що склалися з набору діагональних стержнів, жорсткості яких приймалися на основі зіставлення канонічних рівнянь у переміщеннях для стержнєвої апроксимації з кінцево-різницевою виразом теорії пружності пластинчастих систем. Розглянуті у цій роботі підходи (метод переміщень, кроковий метод, дискретні розрахункові схеми - у процедурному сенсі цей підхід повністю відповідав сучасному уявленню про метод скінченних елементів) в основному відповідали методам, які реалізуються в більшості сучасних програм.

Програма, про яку в 1963р. повідомлялося Першій Всесоюзній нараді і була першим представником сімейства програм ЛПРА. Нижче наводиться коротка хронологія створення програм сімейства ЛПРА.

У 1963 році для ЕОМ БЕСМ-2 була розроблена програма МОДЕЛЬ, в якій був реалізований розрахунок просторових шарнірно-стержневих систем з урахуванням геометричної і

фізичної нелінійності. Для розв'язання систем нелінійних рівнянь був застосований кроковий метод. Програма мала модуль, що реалізує розрахунок пластинчатих систем (плит, балок-стінок, оболонки) на основі стержневих апроксимацій. Це була одна з перших програм, що дозволяла проводити комп'ютерне моделювання фізичних процесів (в даному випадку процес навантаження). Інженерам і дослідникам вперше представилася можливість моделювати процес навантаження конструкцій, а для залізобетонних конструкцій моделювати процеси розвитку тріщин, повзучості, зміна схеми конструкції аж до руйнування.

На відміну від існуючих тоді програм, в яких реалізовувався тільки метод сил, у програмі МОДЕЛЬ вперше був використаний метод переміщень і автоматизована вся процедура статичного розрахунку: задання та діагностика вихідних даних, складання рівнянь, вирішення рівнянь, обчислення зусиль і напружень в стержневих і пластинчастих елементах.

Основні принципи побудови програми МОДЕЛЬ сьогодні практично без змін притаманні всьому сімейству ЛПРА:

- зручний інтерфейс, орієнтований на масового користувача;
- дискретна розрахункова схема;
- формулювання дискретної задачі відповідно до методу переміщень;
- кроковий метод розв'язання нелінійних задач;
- комплексна автоматизація всього процесу розрахунку.

У 1969 році для ЕОМ МІНСЬК-22 була розроблена програма МПРАЖ, яка виконувала комплексний розрахунок просторових стержневих і пластинчастих систем довільного вигляду. У програмі вперше були реалізовані методи скінченних елементів і суперелементів у вигляді, в якому вони зараз використовуються практично у всіх подібних програмах.

Наряду з цим з використанням варіаційно-різницевого методів було розроблено систему «Прочність», яка була призначена для проведення досліджень в області механіки твердого деформованого тіла. Система дозволяла виконувати дослідження напруженого стану, коливань і стійкості несучих елементів конструкцій в будівництві, машинобудуванні і таке інше.

У подальших розробках можна бачити три напрямки:

- пошуки альтернативних МСЕ чисельних методів;
- вдосконалення МСЕ;
- удосконалення програмних комплексів, що реалізують МСЕ.

Досить швидко було усвідомлено, що метод скінченних елементів в переміщеннях, незважаючи на всю свою привабливість, має ряд істотних недоліків. Це в першу чергу знижена (у порівнянні з переміщеннями) точність обчислення напружень і зусиль; наявність розривів значень напружень і зусиль на границях скінченних елементів; не використання граничних умов, виражених в напруженнях і зусиллях. Крім того, МСЕ властиві недоліки всіх чисельних методів: необхідність розв'язання систем рівнянь великих розмірів та пов'язані з цим проблеми обумовленості; для визначення параметрів напружено-деформованого стану в локальній області необхідно розраховувати всю конструкцію.

У зв'язку з цим у 70-ті - 80-ті роки розроблялися методи, альтернативні МСЕ в переміщеннях. В основному це методи, засновані на варіаційних формулюваннях, відмінних від функціоналу в переміщеннях:

- Метод напружень, в якому використовується функціонал додаткової енергії Кастільяно. Він мінімізується на множині допустимих напружень. Допустимі напруження задовольняють рівнянням рівноваги в напружених елементах при заданому зовнішньому навантаженні. Основний недолік цього методу в тому, що безліч допустимих напружень залежать від навантаження. При безлічі завантажень це викликає суттєві труднощі.

- Змішаний метод, в якому невідомими є переміщення і напруження. Недоліком цього методу є необхідність знаходження сідлової точки функціоналу Рейсснера, отже, немає позитивної визначеності.

- Гібридні методи, де невідомими є переміщення у вузлах і середні значення напружень на границях елементів.

- Трохи відокремлено виглядає метод граничних інтегральних рівнянь (автор Верюжський Ю.В.). Застосування цього методу дозволяє висловити значення переміщень усередині області через значення на границі. Задача зводиться до інтегрального рівняння, яке далі вирішується МСЕ. Недолік - непридатний для неоднорідних областей і складної геометрії області. Хоча кількість

невідомих і скорочується, але матриця системи рівнянь повністю заповнена.

У зв'язку з тим, що справжньою альтернативи МСЕ в переміщеннях знайти не вдалося, в даний час спостерігається спад у подібних наукових розробках, хоча, можливо, дієві альтернативні методи з'являться. Значно більш інтенсивно розвивалися напрямки по розробці нових форм МСЕ в переміщеннях і вдосконалення програмних комплексів.

Удосконалення МСЕ в основному було пов'язане з розробкою уточнених СЕ з тим, щоб знизити розмірність рівнянь, що вирішуються, застосуванню МСЕ до вирішень задач динаміки, стійкості, фізичної та геометричної нелінійності.

З 1995 р. ПК ЛПА створюється і розвивається в середовищі Windows. Програмний комплекс ЛПА є системою, що безперервно розвивається, для чисельного дослідження, розрахунку і проектування конструкцій.

Крім безперервного вдосконалення графічного інтерфейсу (інтуїтивний підхід, інтелектуальність, візуалізація на основі OPEN GL тощо) і підвищення рівня наукомісткості (розвиток бібліотеки скінченних елементів, нелінійна динаміка, стійкість та інше) велика увага приділяється і приділятиметься розробкам інтерфейсів, що зв'язують ПК ЛПА з іншими комплексами, а також конструктивним підсистемам, зокрема підсистемі КМ-САПР, яка по суті автоматизує весь процес проектування металевих конструкцій до випуску креслень стадії КМ.

1.2. Сучасні розрахункові комплекси і системи конструювання

1.2.1. Вимоги до сучасних програмних комплексів

В даний час, як і раніше, актуальна задача підвищення якості планувальних, архітектурних і будівельних рішень, зниження вартості будівель і споруд, а також житлових будинків, скорочення питомих капітальних вкладень на одиницю потужності, що вводиться в дію. Рішення цих задач можливе лише при досягненні високої якості всіх проектних розробок.

Проектування складних об'єктів і рішення основних задач проектування неможливе сьогодні без систем автоматизованого проектування (САПР), систем управління базами даних і систем

управління даними про проект. Функціональність таких систем стрімко розширюється. Проте не менш важливим чинником, що визначає успішне вирішення задач проектування, є використання відповідних методологій, що дозволяють моделювати роботу конструкцій більш наближено до реальної її роботи, виявляти картину поведінки конструкцій, аналізувати особливості деформації як окремих складових частин конструкції, так і об'єкту в цілому, оцінювати і доповнювати дані натурних обстежень, вирішувати широкий круг проектних задач. Нові методології проектування повинні враховувати, що на різних етапах життєвого циклу об'єкту потрібні різні уявлення даних про проект, і при цьому значну актуальність набуває вимога дотримання цілісності даних, врахування роботи конструкцій на різних етапах її існування.

Сучасні системи автоматизованого проектування вже давно не є тільки системами тривимірного креслення. Вони включають розвинені засоби накопичення і використання знань, паралельного проектування, розподілення по стадіях, підсистемах і таке інше. Таким чином, складається ситуація, коли не можна говорити про якісне вирішення питання автоматизації процесу проектування в будівництві без урахування сучасних комп'ютерних технологій і методології організації даного процесу.

Сьогодні багато проектних організацій вважають за краще здійснювати впровадження засобів автоматизації комп'ютерного моделювання та проектування лише для вирішення деяких, особливо складних задач, хоча розумно було б реалізувати виграшну у багатьох відношеннях комплексну автоматизацію по всіх етапах рішення задач проектування.

Стандартний підхід – умовно комплексне вирішення задач проектування на базі декількох систем, що пов'язуються між собою засобами обміну даних: підсистеми автоматизованого проектування двомірних об'єктів, підсистеми автоматизованого проектування тривимірних об'єктів, розрахункові програми. Проектне рішення створюється по ланцюжку 3D-модель (або 2D модель) => розрахункові програми => креслярська документація. При цьому можливий альтернативний варіант проектування: креслярська документація => 3D-модель і таке інше. В результаті при внесенні змін в 3D-модель, дуже трудомістко вносити зміни в

інши моделі, що задіяні в процесі проектування. Крім того, всі дані відірвані один від одного і їх сумісна модифікація призводить до великих складнощів, всі програми побудовані на різних інтерфейсах, що ускладнює їх освоєння і роботу. У ряді випадків можуть виникнути проблеми при передачі даних, оскільки експорт і імпорт через проміжні формати не завжди може гарантувати адекватність. Даний підхід виникає з реальної передісторії організації, або в результаті спонтанних придбань проектного інституту нових систем.

Другий підхід спрощено зводиться до наступного: для 3D - моделювання і 2D - моделювання використовується могутня система моделювання, для виконання необхідних розрахунків – розрахункові програмні комплекси. В цьому випадку для отримання креслень створюються 2D-проекции, які експортуються з системи моделювання в стандартному форматі, скажімо, DXF, потім в цьому ж форматі імпортуються в розрахункові програми, де доповнюються інформацією про особливості конструкції. Як правило, цей підхід веде до створення дуже «важкого» програмного середовища.

Сучасний підхід до комплексної автоматизації у всьому світі направлений на інтеграцію програмних продуктів в єдину програмну платформу, а не на комбінацію різних систем. Програмна платформа, що забезпечує комплексне рішення задач будівельного проектування, повинна відповідати наступним ключовим властивостям:

- параметризація, як на рівні 3D-моделі, так і при підготовці креслярської і технологічної документації; що означає, що у будь-який момент можна змінити які-небудь параметри проекту з оновленням всіх необхідних даних решти підсистем.
- геометричне ядро 3D-моделювання, що розвивається;
- інтегровані наукомісткі розрахункові комплекси.
- інструментарій для автоматизації конструювання і створення креслярської документації;

Проте в даний час не існує жодної подібної платформи, здатної комплексно вирішити задачі будівельного проектування з отриманням всієї необхідної графічної і інформаційної

документації. Але сенсу в створенні подібної платформи немає. Доцільним є створення комплексної автоматизованої лінії проектування і управління будівництвом на основі цифрової параметричної моделі об'єкту, яка дозволяє інтегрувати програмні комплекси різного призначення в єдину автоматизовану систему. Така лінія дозволить створювати параметричну віртуальну будівлю в пам'яті комп'ютера різними програмними комплексами. Розробники програмного забезпечення сімейства ЛПРА в цей час працюють над вирішенням цього питання, із застосуванням системи нового покоління САПФІР – системи автоматизованого формоутворення і розрахунку.

Параметризація та 3D-моделювання. В даний час серед засобів тривимірного моделювання практично немає систем, які не володіли б параметричними можливостями. Звичайно параметризація реалізується на рівні бібліотечного елемента для тривимірної операції і значень атрибутів операцій (величин елемента, що параметризуються), а в системах підготовки креслень використання параметризації сильно обмежене. Більшість доступних систем не дозволяє одержувати параметричні креслення будь-якої складності, в кращому разі системи оснащуються параметричними бібліотеками стандартних елементів. На створення ж власних бібліотечних елементів в таких системах йде, як правило, значний період часу.

Прикладами таких систем можуть служити ArchiCAD, Architectural Desktop, Revit, САПФІР. У всіх цих системах використовується геометрична параметризація. На основі внутрішньої мови програмування параметризуються всі елементи: лінії, геометричні параметри, тексти, атрибути елементів. При цьому параметри можуть бути зв'язані будь-якими взаємостосунками. Якщо ж користувачу немає необхідності використовувати параметризацію, то можна працювати так само, як і в інших системах креслення, наприклад в AutoCAD.

Над створенням інструментарію для автоматизації конструювання і створення креслярської документації працює багато відомих фірм розробників програмного забезпечення. **Наукомісткі розрахункові комплекси.** Практично всі існуючі на сьогоднішній день програмні комплекси використовують метод скінченних елементів при виконання розрахунків. Точність

отриманих результатів при розрахунку залежить від ряду факторів, які умовно можна розділити на дві групи. Перша група - це внутрішній програмний код, бібліотека скінченних елементів, математичний апарат, закладений у той чи інший програмний комплекс. Користувач, який використовує програмний комплекс, може мати тільки загальне уявлення про математичний опис тієї чи іншої процедури, і ніяк не може вплинути на точність результату розрахунку. Друга група - це моделювання будівельної конструкції. Моделювання передбачає послідовність «конструкція - навантаження і впливи - модель - розрахункова схема». Для того, щоб змоделювати будівельну конструкцію, і ті умови, у якій вона буде експлуатуватися, користувач будь-якого програмного комплексу повинен володіти достатньо великим обсягом знань. У першу чергу спеціаліст повинен знати нормативну документацію, що діє на сьогоднішній день. Так само важливо, щоб спеціаліст достатньо чітко уявляв конструкцію, яку він хоче змоделювати, як в цілому, так і в окремих вузлах і деталях. Ще одним важливим моментом є знання можливостей програмного комплексу, в якому проводиться моделювання, й вміння ними користуватися. Тільки поєднуючи одночасно всі ці знання в розрахунковій моделі конструкції можна стверджувати, що отриманий результат буде мати актуальне значення.

На сучасному ринку зараз існує достатньо велика кількість розрахункових програмних комплексів. На деяких з них ми зупинимось більш докладно.

Програмний комплекс ABAQUS (розробник компанія Abaqus, США з 1978 року) є потужним інструментом для вирішення проблем будівельної механіки. З його допомогою можна провести детальний аналіз будівельних конструкцій з урахуванням їх реального нелінійного поведіння при впливі різних типів навантаження (статика, динаміка, сейсміки, прогресуюче руйнування тощо) з одночасним розглядом властивостей геотехнічної середовища.

Рішення, одержувані з використанням ABAQUS, відрізняються достовірністю, точністю і можливістю розглядати будь-які складні об'єкти на всіх стадіях проектування, зведення і експлуатації.

До переваг даного програмного комплексу належить також наявність великої кількості нелінійних моделей матеріалів, зокрема

матеріалів металевої арматури, бетонів, ґрунтів, пористих матеріалів тощо, що дозволяє ефективно і з великою точністю вирішувати завдання, що містять дані типи матеріалів, з урахуванням їх реологічних властивостей.

Серед задач, що розв'язуються за допомогою ABAQUS слід відзначити:

- розрахунок втомної міцності і довговічності конструкцій під впливом довільного за часом навантаження з урахуванням пластичного стану;
- оптимізацію конструкцій до зміни параметрів - можна, наприклад, оптимізувати геометрію конструкції по напруженням, що виникають в конструкції при заданих навантаженнях;
- розрахунок конструкцій на статичні, динамічні, сейсмічні і вітрові навантаження, а також на поєднання комбінацій навантажень (багатофакторність навантаження);
- розрахунок тріщиноутворення і концентраторів напруг;
- завдання з прогресуючого руйнування.

Основними галузями застосування цього програмного комплексу є автомобілебудування, авіабудування, металургія, енергетика, загальна механіка. Програмний комплекс не має підсистем для конструювання.

MSC/NASTRAN (розробник Національне управління з аеронавтики і дослідження космічного простору США (NASA) - це одна з потужніших на ринку програмних систем, що працюють за MCE (метод скінченних елементів). MSC / NASTRAN забезпечує повний набір розрахунків, включаючи розрахунок напружено-деформованого стану, власних частот і форм коливань, аналіз стійкості, рішення задач теплопередачі, дослідження сталих і неусталених процесів, акустичних явищ, нелінійних статичних процесів, нелінійних динамічних перехідних процесів, аналіз частотних характеристик при впливі випадкових навантажень, спектральний аналіз і дослідження аеропружності. Передбачена можливість моделювання практично всіх типів матеріалів, включаючи композитні і гіперпружні. Розширені функції включають технологію суперелементов (підконструкцію), модальні синтез і макромову DMAP для створення різних додатків.

Продукт MSC / NASTRAN for Windows дозволяє проводити статичний і динамічний аналіз конструкцій в лінійної та нелінійної постановках, вирішувати теплові завдання: визначити стан, перехідні процеси. У комплексі з системою CFXDesign можливо також рішення задач гідрогазової динаміки, а за допомогою системи Win Life - втомної довговічності. Користувачами MSC / NASTRAN є велика частина американських, європейських і японських автовиробників, більшість аерокосмічних фірм, суднобудування, загального машинобудування, хімічного машинобудування, оптичної промисловості, підприємства будівельного сектора. MSC/NASTRAN не містить підсистем армування та перевірки/підбору металевих перерізів конструкцій.

ANSYS - це універсальний скінченно-елементний програмний пакет (розробником якого є компанія ANSYS Inc., США), який дозволяє вирішувати в єдиному середовищі (і, що дуже важливо, на одній і тій же скінченно-елементній моделі) широке коло завдань у галузях міцності; гідро газодинаміки, електромагнетизму, оптимізації конструкції на основі всіх вищенаведених типів аналізу.

ANSYS забезпечує двосторонній зв'язок практично з усіма відомими CAD-системами. Це досягається за рахунок двостороннього обміну геометрією з найбільш популярними пакетами та імпорту безлічі стандартних форматів.

Також існують збудовані в CAD-системи розрахункові модулі ANSYS, що дозволяють реалізувати переваги технології "наскрізного проектування".

Програмний комплекс ANSYS не містить норм проектування України та Росії.

CAN (розробник Російська компанія) - багатоцільовий скінченно-елементний програмний комплекс. Програмний комплекс CAN заснований на методі скінченних елементів і призначений для проведення розрахунків напружено деформованого стану конструкцій в статичних і динамічних задачах при різних видах навантаження. Також CAN дозволяє проводити розрахунок температурних полів для стаціонарної та нестационарної задачі теплопровідності в лінійній та нелінійній постановках. Бібліотека скінченних елементів включає більше 40 елементів, що моделюють більшість типів конструкцій, що

зустрічаються на практиці. Реалізовано облік різних видів дії: тиск, вагу, інерційні і температурні навантаження, зосереджені зусилля, комбіноване навантаження. Враховуються різні моделі поведінки матеріалу: пружна, пружно-пластична, пружно-в'язко-пластична, ізотропна, ортотропних та ін. Область застосування: трубопроводи, конструкції атомної енергетики; апарати тиску хімічного і нафтохімічного машинобудування; конструкції аерокосмічної промисловості; приладобудування.

APM StructFEM (розробник Московський державний технічний університет ім. М.Е. Баумана, Росія) - комплекс автоматизованого проектування металевих і будівельних конструкцій. Комплекс надає користувачеві широкі можливості по створенню моделей довільних тривимірних конструкцій, які складаються із стрижневих, оболонкових і твердотілих елементів. Програмний комплекс дозволяє провести статичний, деформаційний і нелінійний розрахунки, проаналізувати стійкість конструкцій, обчислити власні частоти та власні форми, а також проаналізувати поведінку системи при зовнішньому змінному впливі (тобто розрахувати переміщення, деформації, напруги). APM StructFEM дозволяє виконати розрахунок розподілу температурного поля і оцінити температурні напруги та деформації при роботі виробу в відмінних від номінальних температурних умовах. Крім міцнісного аналізу моделей конструкцій у програмному комплексі можливо провести розрахунок зварних, групових болтових і клепаних з'єднань, а також з'єднань деталей типу тіл обертання. Всі розрахунки проводяться з використанням методу скінченних елементів (МСЕ).

Область застосування:

- трубопроводи, обладнання, конструкції атомної енергетики;
- апарати хімічного і нафтохімічного машинобудування;
- конструкції аерокосмічної промисловості;
- приладобудування.

Функціональні можливості модуля APM Structure3D:

Лінійні рішення: розрахунок напружено-деформованого стану (статичний розрахунок), розрахунок критичних сил і форм втрати стійкості, тепловий розрахунок, розрахунок термопружності

Нелінійні рішення: розрахунок напружено-деформованого стану з урахуванням геометричної не лінійності, розрахунок напружено-деформованого стану з урахуванням фізичної нелінійності, розрахунок напружено-деформованого стану для випадку контактної взаємодії

Динамічний аналіз: визначення частот і форм власних коливань, у тому числі з попередніми навантаженням, розрахунок вимушених коливань - визначення поведінки системи при заданому законі зміни змушує навантаження від часу з анімацією коливального процесу.

Комплекс не містить конструюючих підсистем, сертифікован у Російській Федерації.

Комплекс **SCAD** (розробник Українська компанія) - інтегрована система аналізу міцності й проектування конструкцій на основі методу скінченних елементів. Він містить у собі процесор, що дозволяє вирішувати завдання великої розмірності у лінійній і геометрично нелінійній постановці, модулі аналізу стабільності, формування розрахункових сполучень зусиль, перевірки напруженого стану елементів конструкцій по різних теоріях міцності, визначення зусиль взаємодії фрагмента з іншою конструкцією, обчислення зусиль і переміщень від комбінацій навантаження, побудови амплітудно-частотних характеристик, модулі підбора арматури в елементах залізобетонних конструкцій, а також перевірки й підбору металевих конструкцій. Система передбачає, крім статичних розрахунків, розгляд різних видів динамічних впливів: таких як сейсміка, пульсація вітрового навантаження, гармонійні коливання, імпульс, удар. В SCAD реалізована розвинена бібліотека кінцевих елементів для моделювання стержневих, пластинчастих, твердотілих і комбінованих конструкцій, так само реалізований режим варіації моделей для спільного аналізу декількох варіантів розрахункової схеми.

Графічні засоби формування розрахункових схем включають набір параметричних прототипів конструкцій, дозволяють автоматично згенерувати сітку скінченних елементів на площині, задати опис фізико-механічних властивостей матеріалів, умов обпирання й примикання, а також навантажень.

ПК сімейства ЛРА (розробник Українська компанія) - багатофункціональний програмний комплекс, призначений для проектування і розрахунку машинобудівних та будівельних конструкцій різного призначення. Розрахунок виконується на статичні (силові й деформаційні) і динамічні впливи. Виконується підбір або перевірка перерізів сталевих і (або) залізобетонних конструкцій. Видаються ескізи робочих креслень КМ і окремих залізобетонних елементів. Більш докладно функції і можливості програмного комплексу ЛРА буде розглянуто далі.

Інструментарій для автоматизації конструювання і створення креслярської документації.

APM Constructor (розробник Науково-технічний центр «Автоматизоване проектування машин», Росія) - комплекс оформлення конструкторської документації. Комплекс призначений для розробки та систематизації конструкторської документації, створеної на різних стадіях виконання проекту. Модулі, що входять до складу цього комплексу, надають можливість формування користувальницьких бібліотек параметричних моделей стандартних конструкцій та їх елементів з подальшою автоматичною генерацією робочих креслень. Комплекс APM Constructor дозволяє в повному обсязі виконувати графічну частину комп'ютерної підготовки конструкторської документації.

Система Advance Steel (Advance Steel був розроблений спеціально для професіоналів в області будівельного проектування, для створення комплексного і повністю інтегрованого рішення на базі AutoCAD).

Можливості системи включають:

- автоматизоване отримання різних типів креслень КМ і КМД (плани, розрізи, монтажні схеми, креслення вузлів і відправних елементів і ін.), деталювання і види металевої конструкції по побудованій 3D-моделі.
- Випуск специфікацій і відомостей металевих конструкцій на основі інформації, закладеної в моделі на отриманих кресленнях.
- Обмін даними про металеві конструкції з програмними системами різного призначення (розрахунковий аналіз, облік матеріалів, технологічна підготовка і т.д.).

StruCad (розробник компанія AceCad Software Ltd, яка є провідним постачальником комплексів автоматизованого проектування металоконструкцій) - світовий лідер систем 3D проектування металоконструкцій. StruCad дозволяє виконувати детальне моделювання та автоматичне формування високоточних креслень, звітів і специфікацій різних типів.

Основні можливості StruCad:

- технологія 3D-параметричного моделювання;
- наявність інструментів для швидкого і точного моделювання металоконструкцій;
- автоматична розробка вузлових з'єднань і CAD макроси
- детальне проектування вузлів металоконструкцій;

T-FLEX CAD (розробник Російська компанія) володіє потужними можливостями 3D-моделювання, забезпечує повну підтримку стандартів ЄСКД, має бібліотеки стандартних виробів (кріпильні вироби, прокат). В комплексі можлива автоматична генерація специфікації для розроблених моделей. Система більш орієнтована на машинобудування.

REAL Steel - сучасне і високоєфективне програмне забезпечення на платформі AutoCAD, Autodesk Architectural Desktop і Autodesk Mechanical Desktop, призначене для проектування металевих конструкцій. Засобами програми забезпечується повний цикл проектування: створення тривимірної моделі, підготовка розрахункових моделей, деталювання вузлів. Результатом роботи є випуск проектної та робочої документації марки КМ. Система інтегрується в лінійку комплексного проектування на базі AutoCAD. Система дозволяє розробку в середовищі AutoCAD креслень марки КМ, відповідних вимогам вітчизняних стандартів.

комплексне рішення задач будівельного проектування, повинна відповідати наступним ключовим властивостям:

- параметризація, як на рівні 3D-моделі, так і при підготовці креслярської і технологічної документації; що означає, що у будь-який момент можна змінити які-небудь параметри проекту з оновленням всіх необхідних даних решти підсистем.
- геометричне ядро 3D-моделювання, що розвивається;

- інтегровані наукомісткі розрахункові комплекси.
- інструментарій для автоматизації конструювання і створення креслярської документації;

Спеціалізована система **КМ-САПР**, що дозволяє в автоматизованому режимі отримувати робочі креслення КМ (маркувальні схеми, відомості елементів, вузли, специфікації). На відміну від численних графічних систем (AdvanceSteel, StruCad, Vocad, RealSteel і багато ін.) орієнтованих тільки на автоматизацію графіки при проектуванні сталевих конструкцій, технологічний ланцюжок ВІЗОР-САПР - СТК-САПР - КМ-САПР дозволяє розрахувати, підібрати (перевірити) і уніфікувати перерізу сталевих елементів і конструкції вузлів з подальшим отриманням креслень КМ. Ця підсистема докладно описується у підрозділі 3.13.

Таким чином, можна зробити висновок, що на сучасному ринку програмних комплексів, які вирішують задачі будівельного проектування дуже велика кількість. Відрізняє їх, окрім наукомістких можливостей, наявність безпосередньо підсистем, що виконують конструювання, наявність можливостей інтеграції с іншими програмними комплексами, галузь застосування, вартість та можливості технічної підтримки та супроводу. Також немаловажним є питання реалізації норм, притаманних регіону, де ведеться розрахунок. В будівельній галузі є дуже важливим проведення не тільки статичного або динамічного розрахунку, а і автоматизація процесу конструювання.

Реалізація проектних процедур (підбір та перевірка перерізів залізобетонних та сталевих елементів) є прерогативою досвідчених спеціалістів, що знають специфіку проектування того чи іншого регіону. Програмних комплексів, що реалізують проектні процедури дуже мало. Американські програми, що мають конструюючі підсистеми, в основному реалізують норми США і Канади. Європейські програми, включаючи програмні комплекси STARK, SCAD і ЛПА-САПР реалізують Єврокод. Єдиними програмними комплексами, у яких повністю реалізовані усі останні норми ДБН, є вітчизняні програмні комплекси ЛПА-САПР і SCAD. В якості примітки додамо, що в цих комплексах також реалізовано усі норми країн СНД, і вони мають єдину бібліотеку скінченних елементів. В завершенні цього підрозділу варто додати,

що Державним комітетом Російської Федерації з будівництва з метою підвищення якості розрахункових проектних рішень будівельних конструкцій рекомендовано здійснювати розрахунки по двом незалежно розробленим програмним комплексам та проводити порівняльний аналіз отриманих результатів. Згідно ДБН В.1.2-5:2007 «Науково-технічний супровід будівельних об'єктів» рекомендовано на етапі проектування об'єкта виконання перевірочних та дублюючих розрахунків основ, фундаментів, конструкцій, а також проводити апробацію прийнятих конструктивних та технологічних рішень.

На прикладі програмного комплексу ЛІРА-САПР в рамках курсового проектування будуть розглянуті системи конструювання металевих конструкцій в розділах 2, 3.

1.2.2. Застосування комп'ютерних технологій при проектуванні металевих конструкцій

Все різноманіття будівельних конструкцій, в залежності від матеріалів, що використовуються для їх виготовлення, можна розподілити на такі типи:

- металеві конструкції;
- бетонні та залізобетонні;
- кам'яні та армокам'яні;
- дерев'яні;
- пластмасові.

В ряді випадків при створенні будівельних об'єктів застосовують змішані конструкції. Наприклад, металеві конструкції комбінуються з залізобетонними або армокам'яними елементами.

Будівельні конструкції можна класифікувати за іншими критеріями, але оскільки методи розрахунку, технологія виготовлення і ряд інших параметрів суттєво залежать від матеріалів, то наведену класифікацію можна вважати визначальною.

В будь-якій будівельній конструкції є так звані несучі елементи, які сприймають зовнішні навантаження, і ті, що не являються несучими. Звісно, матеріали, з яких виготовлені несучі конструкції повинні мати високу міцність та жорсткість.

Металеві конструкції застосовуються у всіх видах будівель і споруд та їх виготовляють із сталі або алюмінієвих сплавів. Останні, внаслідок високої вартості та дефіциту, мають досить обмежене застосування. В основному алюмінієві сплави використовують для виготовлення вітражів, перегородок, дверей, віконних рам, підвісних стель, покрівельних та стінових панелей.

Сталі мають практично необмежене застосування. За їх допомогою реалізують різноманітні конструктивні форми будь-якого призначення. За своєю ефективністю металеві конструкції залишаються неперевершеними в будівлях та інженерних спорудах з великими навантаженнями, прольотами та висотами.

Проведемо аналіз застосування комп'ютерних технологій при розрахунку та проектуванні різних видів металевих конструкцій.

1. Виробничі будівлі в яких несучі конструкції суцільнометалеві або із змішаним каркасом (колони залізобетонні). Суцільнометалеві каркаси застосовують в будівлях з великими прольотами і висотою в яких експлуатуються важкі мостові крани вантажопідйомністю понад 100 т. Автоматизований розрахунок проводиться з обов'язковим врахуванням розрахункових сполучень зусиль від різних комбінацій кранових навантажень.

2. Покриття будівель великих прольотів (понад 50 м) та висот (понад 25 м) – спортивні споруди, ринки, виставкові павільйони, театри, ангари та ін. (прольоти до 100-150 м), представляються у вигляді вантових систем та мембранних покриттів.

З точки зору побудови комп'ютерних моделей їх об'єднує загальна вимога проводити розрахунок у геометрично нелінійній постановці

3. Конструкції мостів та промислових естакад – мости на залізничних і автомобільних магістралях, вони можуть мати різноманітні системи: балкову, арочну, висячу, комбіновану. Прольоти можуть бути різні по довжині, наприклад головний проліт мостового переходу "Сетоахаші" між островами Хонсю та Сікоку в Японії становить понад 1900 м. При комп'ютерному розрахунку доцільно враховувати геометричну та фізичну нелінійність конструкцій. Як правило, конструктивна схема таких споруд обумовлена не тільки експлуатаційної стадією, але і стадією зведення. Найчастіше може виявитися, що на стадіях зведення

зусилля в деяких елементах можуть значно перевищувати відповідні зусилля на експлуатаційній стадії..

4. Листові конструкції (резервуари, газгольдери, бункери, трубопроводи великого діаметру та ін.). Також при комп'ютерному розрахунку бажано б проводити розрахунок в геометрично нелінійній постановці.

5. Висотні споруди (вежі і щогли ліній теле- та радіозв'язку, мереж електропередачі, бурові вежі, надшахтні копри, димові та вентиляційні труби, каркаси висотних монументів). Розрахунок щогл рекомендується завжди проводити в геометрично нелінійній постановці. Вежі, димові та вентиляційні труби, каркаси висотних споруд можливо розраховувати і в пружно-пластичній постановці але з врахуванням динамічних навантажень.

6. Каркаси багатоповерхових будівель. Застосовуються в багатоповерхових будівлях, в умовах щільної забудови великих міст. Розрахунок доцільно проводити з врахуванням зміни розрахункової схеми в процесі зведення (підсистема МОНТАЖ ПК ЛПРА-САПР)

7. Рухомі, поворотні та підйомні конструкції (крани, екскаватори, гідротехнічні споруди).

8. Інші конструкції по використанню атомної енергії в мирних цілях, різноманітні конструкції спеціального призначення для радіотелескопів, розвідки і видобутку нафти і газу в морі та ін.

Крім перелічених, великого поширення набувають будівлі комплектного постачання. Прольоти їх не перевищують 30 м, але за рахунок комплектності, зручності транспортування та монтажу вони успішно конкурують зі спорудами з інших матеріалів. Комплектно постачають промислові та сільськогосподарські будівлі універсального призначення, гаражі, теплиці, фізкультурно-оздоровчі комплекси, конструкції так званих малих архітектурних форм [1].

Для автоматизації проектування металевих конструкцій в цілому використовують спеціальні програми, які враховують специфіку конструкцій цього виду. До таких комплексів можна віднести AdvanceSteel (Німеччина), RealSteel (Литва), Autodesk Mechanical Desktop, SolidWorks (США), Pro/Engineer (США). Ці програмні комплекси мають розвинену систему тривимірного моделювання та автоматичне формування креслень КМ і КМД. Але

вони мають деякі недоліки. Програми AdvanceSteel, RealSteel, Autodesk Mechanical Desktop орієнтовані тільки на виконання креслень, вони не виконують ніяких розрахунків. Програми SolidWorks, Pro/Engineer можна класифікувати як потужні програми для виконання міцнісних розрахунків у машинобудуванні. Автори не вважають доцільним використовувати їх в будівельній галузі.

1.2.3. Напрями розвитку комп'ютерних технологій

Можна виділити декілька основних напрямів розвитку сучасних комп'ютерних технологій:

- графічні системи (типа AutoCAD, ZWCAD, InteliCAD, БудКАД), що спроможні створювати на екрані комп'ютера графічну відображення об'єктів і здатні видавати проектні документи, які відповідають, проте, тільки екранному відображенню;
- графічні системи типу (ArchiCAD, Architectural Desktop, AllPlan, Revit, САПФИР), що мають могутній апарат графічного діалогу, що дозволяє створювати тривимірну графічну модель об'єкту, яка відображає його геометричні і візуальні властивості, і видають інформацію про об'єкт на основі обробки цієї моделі;
- проблемно-орієнтовані проектуючі наукомісткі системи (типу ЛІРА, SCAD, STARK, MicroFe, ANSYS, NASTRAN, APM WinMachine, APM Civil Engineering), що мають інтуїтивний інтерфейс, добре структуровану цифрову модель об'єкту, містять ряд чисто проектних процедур, вирішують достатньо великий клас проблемних задач і вимагають від спеціаліста глибоких професійних знань; нелінійність расчеты на взрывы
- проектуючі системи, що орієнтовані на максимальне використання можливостей системи «фахівець-комп'ютер», мають спеціалізовану експертну систему, базу знань, що відповідають сучасному рівню інформаційних технологій. До останнього напрямку можна віднести програмний комплекс МОНОМАХ.
- інтегровані системи, засновані на цифровій моделі об'єкту (ЦМО), які поєднують різні розділи проектування. Такі системи засновані на поетапному, послідовному створенню

«віртуального будівельного об'єкту», який відображує реальні властивості та характеристики справжнього об'єкту.

Функціонування інтеграційних систем базується на такій моделі об'єкта, яка одночасно виступає в ролі універсальної бази даних або бази знань. Інтеграція комплексів на основі ЦМО дозволяє у високій мірі автоматизувати всі етапи будівництва, починаючи з завдання на проектування і закінчуючи здачею об'єкта в експлуатацію.

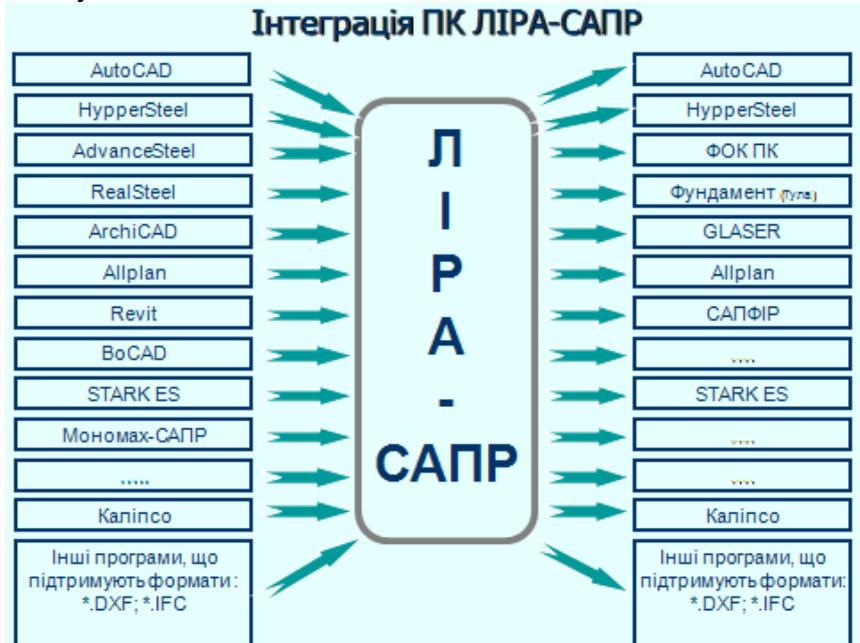


Рис.

1.3. Основні принципи моделювання металевих конструкцій

У методологічному плані системи автоматизованого проектування (САПР) можна визначити як комплекс наукових методів дослідження діяльності в області архітектурно-будівельного проектування з метою розробки системи методик, математичних моделей і алгоритмів, що найкраще забезпечують розподіл функції між проектувальником і комп'ютером при пошуку найкращих проектних рішень.

У результаті вивчення об'єктів у процесі проектування розробляються моделі і алгоритми, що з максимально можливою точністю фіксують закономірності формоутворення об'єктів будівництва і логіку процесів їх проектування.

Підсистеми САПР визначають зону діяльності в системі архітектурно-будівельного проектування за рішенням всіх завдань, пов'язаних з розробкою проектів для кожної з виділених груп об'єктів. Кожна підсистема САПР об'єднує в собі діяльність з проектування всіх об'єктів одного виду і належать до однієї певної області архітектурно-будівельного проектування. У свою чергу підсистеми САПР мають своє поділ на субпідсистеми, тобто на взаємопов'язані зони, спеціалізовані по проектуванню об'єктів різного призначення і визначають типи об'єктів.

При автоматизації проектно-конструкторського процесу слід постійно пам'ятати, що ЕОМ - це допоміжний засіб, а не заміна конструктора. Найбільш ефективно обчислювальна техніка може бути використана, коли є математичні моделі, що описують об'єкт проектування і імітують його функціонування в заданому навколишньому середовищі.

Автоматизація ж «рутинних» операцій звільняє конструктора для творчої діяльності і підвищує продуктивність процесу проектування.

Проектування металевих конструкцій це багатоетапний процес, що включає вибір конструктивної форми, розрахунок і розробку креслень для виготовлення і монтажу конструкцій. Основною метою проектування є створення моделі об'єкта, що призначена для виконання певних функцій, та надання інформації, яку містить модель, іншим учасникам процесу створення об'єкта. Первинна модель відображає принциповий вибір рішення, що включає вибір матеріалу, об'ємно-планувальної та конструктивної схеми на підставі технологічного задання на проектування з урахуванням ефективності капітальних вкладень, наявності виробничих баз, можливості впровадження нової техніки і технологій.

Метою розрахунку є суворе обґрунтування габаритів конструкції, її розмірів поперечних перерізів і їх з'єднань що забезпечують умови експлуатації протягом всього терміну з необхідною надійністю і довговічністю при мінімальних витратах матеріалів і праці на їх створення і експлуатацію. Ці вимоги часто

суперечать одна одній (мінімальні витрати металу і надійність), тому реальне проектування є процесом пошуку конструктивного оптимального рішення. Розрахунок складається з наступних етапів: встановлення розрахункової схеми, збір навантажень, визначення зусиль в елементах конструкцій, підбір перерізів і перевірка допустимості напружено-деформованого стану конструкцій, її елементів і з'єднань.

Цей процес значною мірою характеризується своєю рутинністю і піддається автоматизації. Завдяки цьому в проектних установах більш як 90 % статичних розрахунків, а також до 80 % кошторисної документації виконується за допомогою обчислювальної техніки. Значно нижчий рівень автоматизації виготовлення робочих креслень, розробки конструкторської документації, тому ця проблема залишається в центрі уваги й сьогодні. Призначення процесу автоматизації проектування – підвищити якість проектної документації (не слід забувати, що різні проектувальники мають різні рівні компетентності), крім того, з її допомогою відкриваються перспективи впровадження методів оптимізації конструкцій, скорочуються терміни проектування.

У САПР входять підсистеми – спеціалізовані частини, орієнтовані на вирішення задач певного етапу проектування: інженерних розрахунків, конструювання, технологічної підготовки виробництва, видача робочих креслень та інші.

Задача конструювання є однією з важливих і найбільш трудомістких в САПР. Конструюванням називається розробка конструкції по попередніх розрахунках, реалізована в конструкторську документацію.

При конструюванні:

- визначається (або уточнюється) геометрична схема конструкції;
- виконується розрахунок вузлових сполучень – розрахунок зварних швів, підбір катетів і довжин, підбір і розстановка болтів і заклепок;
- виконується прокреслювання вузлових сполучень конструкцій у великому масштабі (бажано 1:1);

- прив'язка суміжних конструкцій (фундаментів, конструкцій існуючих об'єктів, технологічного устаткування, обробних конструктивних елементів);
- оформлення конструкторської документації;
- узгодження одержаної конструкції з технологіями.

У розділах 2, 3 було зроблено спробу на простих прикладах в рамках курсового проектування описати як вирішення цих питань виконується за допомогою графічної підсистем автоматизації розробки і виконання конструкторської документації СТК-САПР та КМ-САПР.

Ефективність застосування СТК-САПР та КМ-САПР при розробці конструкторської документації забезпечується наступними її можливостями:

- використанням готових фрагментів креслень: конструктивних і геометричних елементів, уніфікованих конструкцій, стандартних виробів;
- ведення діалогу з комп'ютером в звичних для конструктора термінах і із звичними для нього об'єктами;
- наявністю засобів опису типових моделей – креслень об'єктів, коли процес створення креслення зводиться до задання розмірів;
- отриманням креслень високої якості, оформленим за стандартами ДСТУ, ЕСКД.

1.4. Особливості реалізації автоматизованих розрахунків металевих конструкцій з врахуванням нелінійності.

Удосконалення методів розрахунків - важлива складова з підвищення ефективності будівництва. Необхідно врахування просторової роботи споруди, використання розрахункової моделі з урахуванням геометричної і конструктивної нелінійності системи і т.д. Сучасний розвиток комп'ютерних технологій і прикладних математичних пакетів дає можливість ефективно використовувати матричні і скінченно-елементні алгоритми. Підвищення точності і можливостей розрахунків дозволяють вирішувати складні завдання: від вибору матеріала до визначення найбільш вигідних геометричних характеристик всієї конструкції. Колишні наближені

розрахунки не завжди забезпечували необхідну надійність і довговічність конструкції.

Сучасні споруди неможливо коректно розрахувати в лінійній постановці. До таких споруд можна віднести висячі покриття, легкі пішохідні мости, щогли з відтяжками, а також стержневі конструкції на стадії монтажу. Відмінна риса таких конструкцій - відсутність лінійної залежності зусиль від навантаження (геометрична нелінійність) і наявність односторонніх зв'язків (конструкційна нелінійність). Взагалі природа нелінійності може бути різна:

- фізична нелінійність, обумовлена реологічними властивостями матеріалу, тобто нелінійною залежністю між напруженнями та деформаціями. Така нелінійність характерна для залізобетонних конструкцій, у яких уже при невеликих експлуатаційних навантаженнях з'являються тріщини, які різко знижують жорсткість елементів, сюди належать також і ґрунтові масиви, так як ґрунт погано працює на зсув і практично вимикається з роботи при розтягуванні;
- геометрична нелінійність, пов'язана із необхідністю врахування великих переміщень, які значно змінюють початкову геометрію конструкцій.
- конструктивна нелінійність, обумовлена властивістю конструкції змінювати свою конструктивну схему в процесі навантаження. Така нелінійність характерна для конструкцій, що мають технологічні зазори, які в процесі навантаження можуть закриватися, плити і балки на ґрунтовій основі, опори яких не працюють на відрив (односторонні в'язі), в якійсь мірі сюди можна віднести нелінійність, пов'язану зі зміною конструктивних схем у процесі монтажу.

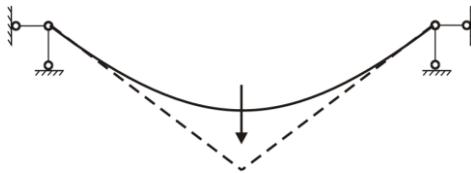
Металеві конструкції, як правило, мають конструктивну «легкість», тобто невеликі перерізи допускають великі переміщення, а, отже, нелінійність роботи металевих конструкцій в основному пов'язана з урахуванням геометричної нелінійності.

Геометричну нелінійність умовно можна розділити на два типи:

I тип - характерний для великопрольотних ферм, структур, арок, які мають велику гнучкість і тому допускають великі переміщення.

Тут розрахунок необхідно проводити з урахуванням остаточної геометрії, яка може сильно відрізнятись від початкової. Для такого розрахунку існує сталий термін - «розрахунок за деформованою схемою».

II тип - характерний для таких конструкцій як вантові ферми, вантові покриття, мембрани, окремі ванти. Характерною особливістю таких конструкцій є те, що для сприйняття різних видів навантажень вони повинні змінити свою форму - так нитка під власною вагою приймає форму близьку до квадратної параболі, а при зосередженій навантаженні вона повинна прийняти форму трикутника.



Опишемо суть поняття нелінійності на простих прикладах.

Якщо для лінійно-пружного розрахунку приймаються передумови, що жорсткості, геометрія і конструктивна схема залишаються незмінними протягом всього процесу навантаження і в цьому випадку напружено-деформований стан конструкції можна описати системою лінійних рівнянь, то нелінійний розрахунок пов'язаний із необхідністю врахування зміни жорсткостей, геометрії конструкції і конструктивної схеми, і це призводить до опису напружено-деформованого стану конструкції нелінійними рівняннями.

Продемонструємо отримання нелінійних рівнянь на прикладі.

Конструкція складається з двох стержнів - рис. 1.1 (така конструкція часто зустрічається в тестових завданнях і носить назву ферми Мізеса).

Завдання поставлене так:

Задано: геометрія системи, перетин стержнів F , матеріал - модуль пружності E , навантаження P .

Необхідно визначити: переміщення W .

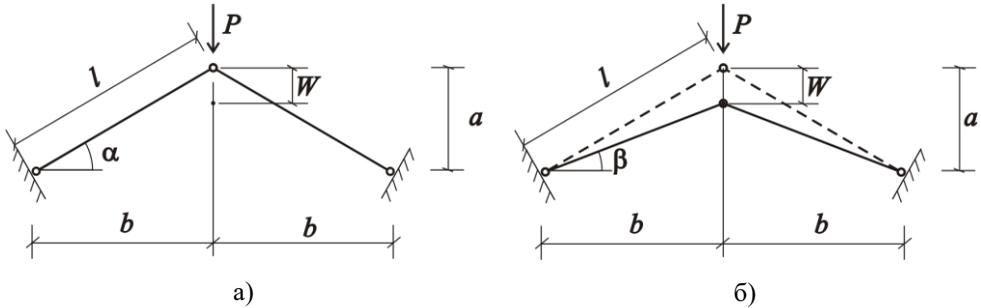


Рис.1.1. Приклад конструкції ферми Мізеса , а)

Виведемо вирішуючу системи рівнянь (в даному випадку це одне рівняння з одним невідомим - вертикальним переміщенням W) . Лінійно-пружна постановка завдання означає, що ми нехтуємо зміною геометрії в процесі навантаження, тобто переміщення W зневажливо мало в порівнянні з розмірами a , b , l і діє лінійний закон Гука, тобто $\sigma = E\varepsilon$, де

σ - напруження в стержні;

E - модуль пружності;

ε - відносне подовження.

Тоді вирішуюче рівняння рівноваги має вигляд

$$2N \cdot \sin \alpha = p , \quad (1.1)$$

де. $N = \sigma F = EF\varepsilon$

F - площа стержня;

$\varepsilon = \frac{W \cdot \sin \alpha}{l}$ - відносне подовження.

Підставляючи значення σ і ε в (1) отримаємо:

$$2 \frac{EF}{l} \cdot \sin^2 \alpha \cdot W = p . \quad (1.2)$$

Таким чином, отримали систему лінійних (щодо невідомих переміщень) рівнянь - в даному випадку система складається з одного рівняння з одним невідомим W .

Тепер виведемо вирішуюче рівняння за умови, що матеріал має нелінійну залежність між напругою і деформаціями.



$$\sigma = E\varepsilon - B\varepsilon^2$$

Рис1.2. Фізично нелінійна залежність між напруженням та модулем пружності

Тоді

$$N = \sigma \cdot F = E F \varepsilon - B F \varepsilon^2 = E F \frac{\sin \alpha}{l} \cdot W - B F \frac{\sin^2 \alpha}{l^2} \cdot W^2.$$

Підставляючи значення N в (1.1) отримаємо

$$2 \frac{E F}{l} \cdot \sin^2 \alpha \cdot W - B F \cdot \frac{\sin^3 \alpha}{l^2} W^2 = p \quad (1.3).$$

На відміну від лінійного рівняння рівноваги (1.1), це рівняння нелінійно щодо невідомого переміщення W, таким чином фізична нелінійність (рис. 1.2) призвела до утворення системи нелінійних рівнянь (у даному випадку - одне рівняння).

Тепер виведемо вирішуюче рівняння типу (1.1) за умови геометричної нелінійності. Це означає, що переміщення W досить велике й порівняне з розмірами a, b, c, тому в рівнянні рівноваги має фігурувати не $\sin \alpha$ а $\sin \beta$ (рис. 1.1, б), тобто

$$\sin \beta = \frac{a - W}{\sqrt{(a - W)^2 + b^2}} \quad (1.4)$$

Підставляємо (1.4) в (1.2) отримаємо:

$$2 \frac{E F}{l} \cdot \sin^2 \beta \cdot W = 2 \frac{E F}{l} \left(\frac{a - W}{\sqrt{(a - W)^2 + b^2}} \right)^2 \cdot W = p \quad (1.5)$$

Як бачимо рівняння (1.5) так само як і (1.3) нелінійно щодо невідомого переміщення W, яке тут входить у другий і в третій ступені і стоїть під знаком кореня.

Аналітично вирішити нелінійне рівняння (1.5) в явному вигляді неможливо, а на практиці необхідно вирішувати систему

нелінійних рівнянь типу (1.3) і (1.5), що включають сотні тисяч невідомих. На допомогу приходить чисельний апарат. Є багато методів розв'язання систем нелінійних рівнянь. Більшість з них реалізовано в ПК ЛІРА-САПР. Найчастіше використовується кроковий метод. Він полягає в тому, що навантаження дробиться

$$\Delta p = \frac{p}{n}$$

на декілька частин n , де n - кількість кроків), і рівняння (1.5) на кожному, наприклад, $i + 1$ кроці набуває вигляду:

$$2 \frac{EF}{\sqrt{(a - W_i)^2 + b^2}} \left(\frac{a - W_i}{\sqrt{(a - W_i)^2 + b^2}} \right)^2 \cdot \Delta W_{i+1} = \Delta p_{i+1} \quad (1.6)$$

На цьому етапі W_i відомо з попереднього кроку і рівняння лінійно щодо ΔW_{i+1} .

Розрахунок починається з ненавантаженого стану, коли $W_0 = 0$

Остаточне значення W визначається підсумовуванням всіх збільшень, тобто

$$W = \sum_{i=1}^n \Delta W_i$$

Таким чином на простому прикладі було показано, що нелінійні залежності між напруженнями і деформаціями та врахування великих переміщень призводить до необхідності вирішувати системи лінійних рівнянь.

Для розрахунку конструкцій з урахуванням геометричної та фізичної нелінійності в ПК ЛІРА-САПР існує спеціальний процесор, який реалізує кроковий метод і набір спеціальних скінченних елементів:

У п'ятому розділі на прикладах конкретних об'єктів коротко розглянута технологія розрахунку металевих конструкцій з врахуванням геометричної нелінійності.

1.5. Загальні положення проектування металевих конструкцій в сучасних комп'ютерних програмах

Комп'ютерні технології проектування, як складова частина комп'ютерних технологій взагалі, включають програми для моделювання, розрахунку, виготовлення та управління виробництвом. Програми моделювання дозволяють з великою точністю створити уявну модель об'єкту, виготовити його креслення, або навіть тривимірний макет. Програми для розрахунку дозволяють дослідити поведінку об'єкта під впливами зовнішніх факторів ще до матеріального втілення. Програми для виготовлення дозволяють доручити виготовлення об'єкта автоматизованим лініям з числовим програмним управлінням. І нарешті, програми для управління дозволяють забезпечити безперерйність процесу виробництва і визначити його вартісні показники¹.

Далі ми розглядатимемо лише два з чотирьох аспектів комп'ютерних технологій проектування, а саме моделювання і розрахунок, залишивши без уваги програми для устаткування заводів металоконструкцій і програми для створення кошторисів та графіків виконання робіт, оскільки перші занадто специфічні, а останні не мають прямого відношення до металоконструкцій.

Автоматизоване проектування металевих конструкцій ми будемо розглядати на прикладі програмного комплексу ЛПРА-САПР. Цей вибір не є випадковим: по-перше, цей програмний комплекс є досить поширеним інструментом проектувальника, і оволодіння ним буде вельми корисним для майбутнього інженера, а по-друге, в рамках ПК ЛПРА-САПР автоматизований розрахунок поєднується з автоматизованим конструюванням і автоматизованим отриманням креслень металевих конструкцій, дозволяючи скласти уявлення про можливості як новітніх розрахункових, так і креслярських програм.

¹ Англomовна література позначає комп'ютерні технології проектування абрeвіатурою CAE, Computer-Aided Engineering, дослівно «проектування з допомогою комп'ютера». Програми для моделювання називаються CAD, Computer-Aided Design; програми для розрахунку – Computer-Aided Analysis; виготовлення – Computer-Aided Manufacturing; управління – Material Requirements Planning та Computer-Aided Planning. В українській мові еквівалентом CAE є абрeвіатура САПР, тобто «система автоматизованого проектування».

Процес проектування металевих конструкцій в ПК ЛІРА-САПР в загальному вигляді можна представити на діаграмі, зображеній на рис. 1.1:

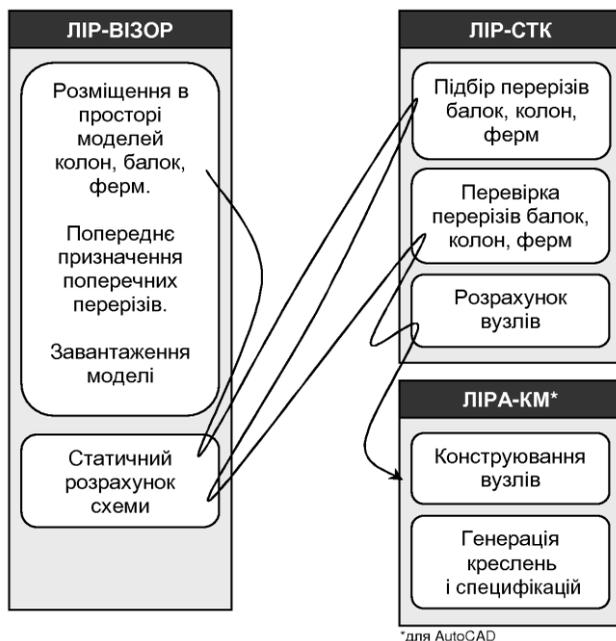


Рис. 1.1 Процес проектування металевих конструкцій в ПК ЛІРА-САПР

Щоб розрахувати і сконструювати металеву колону, балку, або ферму, необхідно попередньо визначити внутрішні зусилля і прогини, які в ній виникають від власної ваги і від дії зовнішніх навантажень. Внутрішні зусилля і прогини визначаються під час статичного розрахунку розрахункової схеми. Тобто перед початком конструювання необхідно пройти попередній етап – побудова розрахункової схеми і визначення прогинів і внутрішніх зусиль в елементах.

Отже, першим етапом проектування будь-якої конструкції є побудова розрахункової схеми і визначення внутрішніх зусиль в її елементах. ПК ЛІРА-САПР використовує метод скінченних елементів (МСЕ) для визначення переміщень і внутрішніх зусиль елементів розрахункової схеми, і тому всі елементи розрахункової схеми, мають бути елементами скінченно-елементної моделі, тобто

скінченними елементами. ПК ЛІРА-САПР має в своєму арсеналі десятки скінченних елементів, призначених для різних потреб, але в подальшому під скінченним елементом, або просто *елементом* ми будемо розуміти двохвузловий стержневий скінченний елемент, в якому можуть виникати нормальна сила N , згинаючі моменти M перерізуючі сили Q . Саме з таких елементів ми і будемо будувати розрахункову схему.

Як видно з рис. 1.1 процес розрахунку і проектування металевих конструкцій в ПК ЛІРА-САПР в загальному випадку не є однаправленим, а виглядає поступально: побудова схеми – розрахунок – уточнення – розрахунок. Давайте коротенько переглянемо його:

Етап 1. Розміщення елементів в просторі. Після побудови розрахункова схема буде складатися з вузлів, елементів, навантажень, а також в'язей, шарнірів і т.д. рис. 1.2 ілюструє, як такі об'єкти виглядають в ПК ЛІРА-САПР.

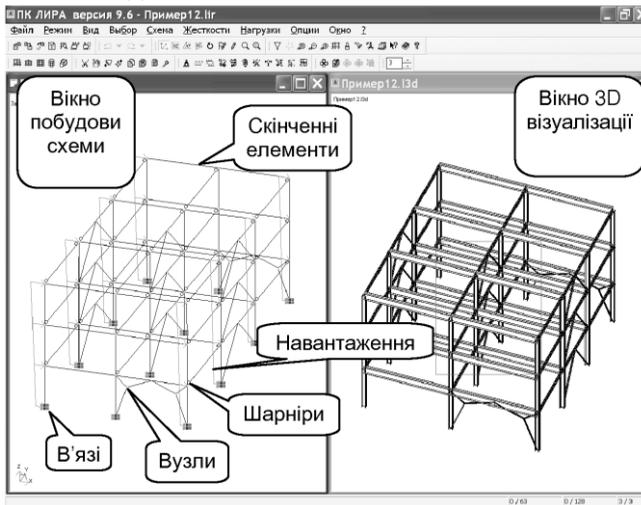


Рис. 1.2 Вигляд основних об'єктів розрахункової схеми в ПК ЛІРА-САПР

Тут доречно було б згадати про поняття оптимізації і про те, що конструктивна схема, тобто взаємне розташування елементів в конструкції, може бути оптимальна або неоптимальна. Чи може комп'ютерна програма допомогти розташувати елементи так, щоб вага, маса, вартість зведення, експлуатаційні витрати тощо були

мінімальними? Відповідь – ні. До нашого часу проблема оптимізації конструкції в цілому не вирішена, тому доцільніше говорити не про оптимальність, а про раціональність конструкції, розуміючи під раціональністю збалансованість конструктивної схеми до різних вимог (критеріїв оптимальності). Таким чином, відповідальність – чи буде побудована схема раціональною, наскільки раціональною і за якими критеріями – повністю належить на архітекторові й конструкторові. Саме тут у великій нагоді стануть комп'ютерні технології, з допомогою яких можна досить швидко порівняти кілька варіантів конструктивної схеми.

Ще одне непросте питання, яке завжди лежить перед конструктором – наскільки докладно слід будувати розрахункову схему. Наприклад, чи розраховувати тільки поперечний переріз будинку, чи будувати й розраховувати повну просторову схему всього будинку? Сучасні комп'ютери за декілька хвилин розв'язують системи рівнянь на сотні тисяч і навіть мільйони невідомих. Це дозволяє відмовитись від розрахунків спрощених моделей, наприклад, тобто в нашому прикладі розрахунку поперечного перерізу будинку, і розраховувати всю конструкцію. Незважаючи на додаткові витрати часу на свою побудову, просторова схема пропонує певні переваги. По–перше, це більш точне визначення зусиль. По–друге – просторове моделювання дає уявлення про напружено–деформований стан елементів, робота яких не зовсім зрозуміла в плоскій постановці. І, нарешті, просторові моделі можуть бути використані для побудови робочих креслень на останньому етапі проектування.

Якщо розташування елементів каркасу може підказати проектувальнику архітектор, то призначення поперечних перерізів елементів для статичного розрахунку є цілковитою прерогативою конструктора. Призначення поперечних перерізів елементів є процесом ітеративним: конструктор задає на елементи будь–які перерізи і виконує статичний розрахунок, далі виконує підбір перерізів на отримані зусилля, і повертає їх у розрахункову схему для повторного статичного розрахунку. Такий цикл необхідний, бо в статично–невизначених системах розподіл внутрішніх зусиль залежить від жорсткості елементів. Звичайно, досвідчений проектувальник може призначити правильні поперечні перерізи

елементам з самого початку, але в загальному випадку процес проектування є циклічним.

Завершальним етапом побудови розрахункової схеми є прикладання навантажень до елементів розрахункової схеми. ДБН В.1.2–2:2006 «Навантаження та впливи» зобов'язує проектувальника поєднувати навантаження у сполучення. Наприклад, ось цитата з п. 4.18 ДБН: *Для основних сполучень, що включають постійні та не менш ніж два змінні навантаження, останні приймаються з коефіцієнтом сполучень $\Psi_1=0,95$ для тривалих навантажень і $\Psi_2=0,90$ для короткочасних навантажень.* Тобто навантаження на елементи, які виникають від одного впливу, необхідно поєднувати. Для зручності навантаження на елементи групуються в *завантаження*. Одне завантаження містить багато навантажень на елементи розрахункової схеми. Наприклад, на рис. 1.2 зображені навантаження, які входять до вітрового завантаження. Приклади навантажень: зосереджена сила в елементі розрахункової схеми, зосереджена сила у вузлі розрахункової схеми, трапецієвидне навантаження на елемент розрахункової схеми. Приклади завантажень: постійне завантаження від власної ваги, завантаження від устаткування, вітрове завантаження, снігове завантаження. Завантаження зручно об'єднувати і комбінувати в сполучення завантажень, як того вимагає ДБН, а зусилля від сполучень завантажень використовуються для розрахунку міцності елементів.

Після того, як скінченні елементи, які моделюють реальну конструкцію, розміщені в просторі, зв'язані між собою вузлами, закріплені в'язями і навантажені, можна переходити до статичного розрахунку.

Етап 2. Статичний розрахунок в ПК ЛІРА-САПР виконується автоматично, простим натисканням кнопки «розрахунок». Статичний розрахунок обраховує переміщення і внутрішні зусилля в елементах від навантажень. По зусиллям, отриманим статичним розрахунком, на наступних етапах проходить підбір перерізів елементів та перевірка міцності елементів конструкції. Справедливо зазначити, що нинішній розрахунок ПК ЛІРА-САПР далеко не завжди є статичним, оскільки в більшості випадків реального проектування крім статичних навантажень необхідно рахувати конструкцію й на інші: сейсмічні, пульсація вітру,

повзучість бетону тощо. Тому статичний розрахунок у ПК ЛІРА-САПР називати статичним некоректно. Але ми будемо й далі користуватись саме терміном «статичний розрахунок», щоб не плутати його з розрахунком елементів конструкції: перевіркою і підбором поперечних перерізів колон, балок, ферм та розрахунком елементів вузлів металевих конструкцій.

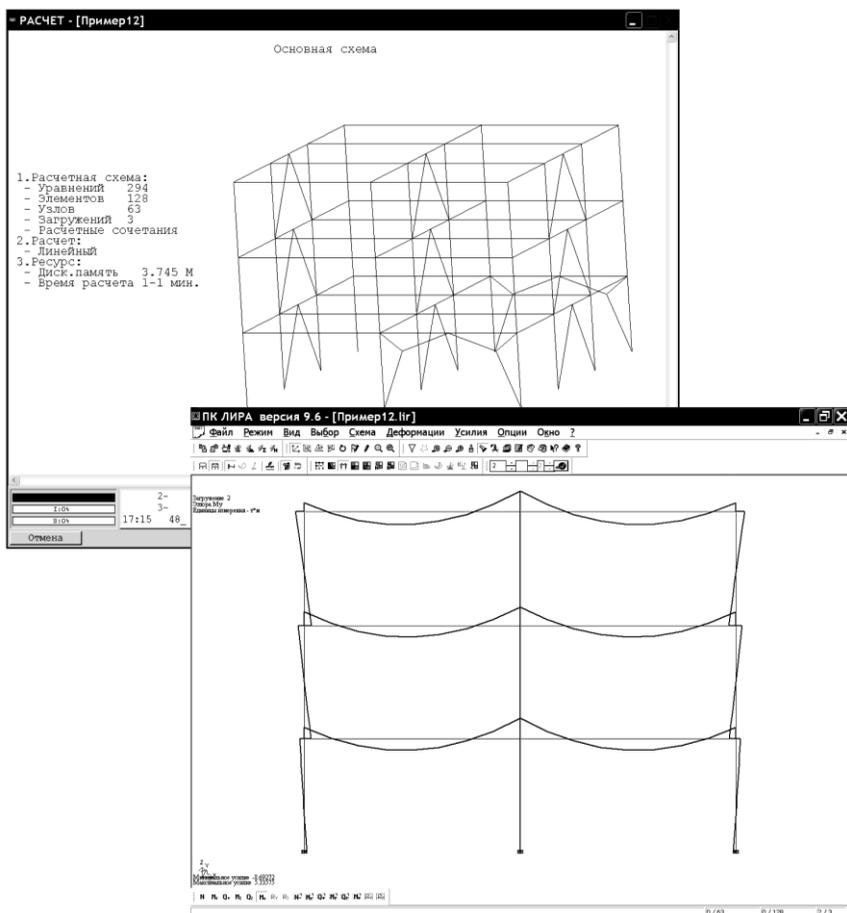


Рис. 1.3 Видяк вікна розрахункового процесора та вікна аналізу результатів ПК ЛІРА-САПР

Після проведення статичного розрахунку слід проглянути результати розрахунку. Надто великі зусилля, зусилля в неочікуваних місцях, їх концентрації або переміщення в неочікуваному напрямку можуть свідчити про помилки в розрахунковій схемі. В такому разі слід повернутися на етап 1, виправити помилки, виконати статичний розрахунок і знов проаналізувати його результати.

Етап 3. Підбір перерізів елементів конструкції. Якщо побудова розрахункової схеми, статичний розрахунок і аналіз його результатів виконується в підсистемі ВІЗОР-САПР, то для розрахунків міцності елементів металевих конструкцій призначена інша підсистема, яка входить в програмний комплекс ЛІРА-САПР під назвою СТК-САПР (рис. 1.4).



Рис. 1.4 Вигляд вікна підсистеми розрахунку металевих конструкцій СТК-САПР

На відміну від статичного розрахунку, де діють загальні алгоритми будівельної механіки, СТК-САПР користується інженерними методами розрахунку, тобто виконує ті самі дії, що й конструктор під час розрахунку кожного елемента вручну. Використовуючи інженерні методи, СТК-САПР робить висновок,

чи витримає поперечний переріз, призначений на етапі 1 навантаження, призначене на тому ж таки етапі, а також може підібрати такий поперечний переріз, який витримає задане навантаження. СТК-САПР не робить спроб оптимізувати топологію конструкції, умови закріплення елементів і навіть не варіює різними типами поперечних перерізів. Його робота проста й зрозуміла: перевірити елемент з заданим поперечним перерізом, на зусилля, отриманими зі статичного розрахунку по формулам, викладеним в нормативі, (для України це СНиП 2.23–81* «Сталеві конструкції»). Підбір перерізів елементів виконується так само, з єдиною відмінністю: якщо елемент не задовольняє формулам СНиП, то з сортаменту металевих профілів вибирається наступний профіль тієї ж конфігурації, але інших розмірів, аж доки перевірки по всім формулам не будуть задовільними.

Етап 4 – це повернення в режим побудови розрахункової схеми, призначення елементам перерізів, підібраних на етапі 3 і статичний перерахунок схеми з новими поперечними перерізами. Щодо цього існує одне неофіційне правило, сформульоване досвідченими інженерами: якщо жорсткість підібраних перерізів відрізняється від перерізів, заданих на першому етапі менше, ніж на 30% – повертатися на етап 2 і виконувати повторний статичний розрахунок з уточненими перерізами – необов’язково.

Етап 5 – перевірка поперечних перерізів елементів інженерними методами в підсистемі СТК-САПР. Тепер всі елементи, мають обов’язково витримувати навантаження. При дуже невдалому призначенні поперечних перерізів на першому етапі можлива ситуація, коли етапи 3–5 доводиться виконувати ще раз.

Етап 6 – розрахунок і конструювання вузлів. Виконується в підсистемі СТК-САПР з використанням інженерних методів.

Етап 7 – виготовлення креслень конструкції: планів, розрізів, схем елементів, креслень вузлів. Підсистема СТК-САПР є розрахунковою і не містить інструментів для креслення. Для перетворення цифрових результатів розрахунку і конструювання на робочі креслення служить ще одна підсистема ПК ЛІРА-САПР під назвою КМ-САПР (рис 1.5). КМ-САПР може генерувати плани, розрізи, схеми елементів конструкції та креслення вузлів. Звичайно, автоматично генеровані креслення потребують доопрацювань. Тому, щоб полегшити роботу з кресленнями, КМ-

САПР інтегрована в одну з найпопулярніших креслярських програм: AutoCAD.

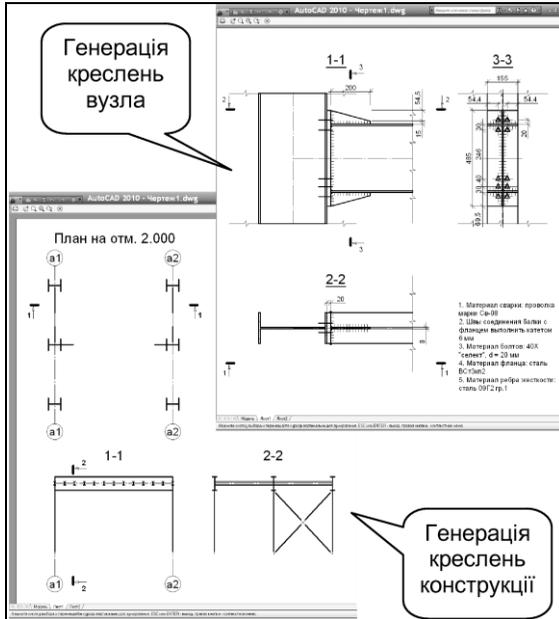


Рис. 1.5 Генерація креслень металевих конструкцій в підсистемі КМ-САПР

На завершення цього коротенького огляду можливостей програмного комплексу ЛІРА-САПР в площині металевих конструкцій хотілося б ще раз прокреслити межу між можливостями машини і людини. Так, інструмент інженера від мотузки з вузликами еволюціонував до комп'ютера. Так, комп'ютерні технології наближають нас до реальної поведінки об'єктів. Але якщо давній інженер міг забути тільки те, що для побудови прямого кута співвідношення вузликів на мотузці має бути 3x4x5 (і збудувати кособоку піраміду), то помилка в складній тривимірній моделі може просто загубитись. В сучасних комп'ютерних програмах діє принцип «помилкові вихідні дані – помилковий результат», і ніяка машина тут не допоможе. Тому надзвичайно важливо вивіряти кожен свій крок при моделюванні.

Допомагаючи в розрахунках тривіальних задач, комп'ютерні моделі надто далекі від того, щоб змоделювати геть усі процеси,

яки протікають в об'єктах реального світу. Для кожного процесу кожного об'єкту має бути складена власна програма розрахунку, достовірність якої має бути підтверджена експериментальними результатами. Дійсність завжди змушує інженера балансувати на межі відомих знань, старатися зводити вирішення нової проблеми до вже відомих перевірених розв'язків. В сучасних розрахункових комплексах далеко не всі варіанти конструкцій та їхньої роботи можуть бути змодельовані і розраховані. Збудувати розрахункову схему, яка б вписувалася в можливості розрахункового комплексу з одного боку і максимально точно моделювала роботу об'єкту – ось гідна задача для сучасного конструктора. Далі в цьому розділі буде йтися, які саме можливості пропонує ПК ЛІРА-САПР, або, іншими словами, що вміє і що не вміє робити ПК ЛІРА-САПР.

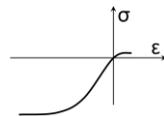
1.5.1. Найбільш ефективні інструменти, що використовуються при моделюванні розрахункових схем будівельних конструкцій

Для проектування будівельних конструкцій було б досить статичного розрахунку і інженерних методів розрахунку, викладених в ДБН, СНиП, ГОСТ і т.п.: інженерні методи прості, підтвержені досвідом експлуатації і можуть застосовуватись переважній більшості випадків. Але існує клас конструкцій, подібних яким ще ніколи не було зведено, і проектувальники змушені шукати інші методи для їхнього розрахунку. ПК ЛІРА-САПР крім інженерних включає інструменти *математичного* дослідження напружено-деформованого стану (НДС) конструкції. Тому програмний комплекс ЛІРА-САПР може використовуватись як для проектування будівельних конструкцій, так і в машинобудуванні, і для наукових досліджень. Нижче перераховані основні методи розрахунку, які входять в ПК ЛІРА-САПР.

- Визначення НДС, тобто переміщень, зусиль і напруження від статичних і динамічних навантажень. Силкові статичні навантаження нам добре відомі: постійне, сніг, вітер, тимчасове навантаження і т.п. Крім силових навантажень ПК ЛІРА-САПР дозволяє задавати деформаційні навантаження: просадка опор, різниця температур і т.п. Динамічні навантаження в ПК ЛІРА-САПР – це сейсмічне навантаження, удар, імпульс, гармонічне навантаження, а також пульсація вітру. Що це за навантаження? Сейсмічне

навантаження виникає під час коливання ґрунтової основи будинку, наприклад під час землетрусу або від підземних ліній метрополітену. Удар – це навантаження, прикладене в певний, досить короткий період часу, наприклад від падіння предмету на конструкцію, можливо циклічно. Імпульс схожий на удар, але виникає від коливання додаткової маси, прикріпленої до несучого елемента конструкції. Гармонічне навантаження виникає від циклічних коливань від роботи технологічного обладнання. Навантаження від пульсації вітру згідно з ДБН В.1.2–2 2006 «Навантаження та впливи» необхідно враховувати в будинках, вищих за певну висоту.

- Підбір і перевірка арматури стержневих і пластинчатих залізобетонних елементів (підсистеми ЛПР–АРМ та ЛПР–ЛАРМ).
- Перевірка і підбір перерізів сталевих стержневих елементів та розрахунок та конструювання вузлів металевих (підсистеми СТК-САПР та КМ-САПР).
- Визначення НДС з урахуванням геометричної нелінійності, тобто з урахуванням послідовної зміни геометрії системи від навантаження, а також розрахунки систем, які не можуть бути вирішені в лінійній постановці: нитки, ванти і мембрани.
- Визначення НДС після втрати стійкості елементів конструкції.
- Визначення НДС з урахуванням конструктивної геометричної нелінійності, тобто врахування односторонніх в'язей, тертя, зазорів між елементами.
- Визначення НДС з урахуванням фізичної нелінійності, тобто врахування нелінійного графіку напруження/деформація $\sigma(\epsilon)$ для пластичних та композитних матеріалів, таких як залізобетон. Фізично-нелінійний розрахунок видає реалістичні переміщення (прогини) елементів з таких матеріалів, автоматично враховує утворення пластичних шарнірів, враховує глибину розкриття тріщин і момент руйнування конструкції



- Визначення НДС з урахуванням фізичної, геометричної нелінійності одночасно, в тому числі від динамічних навантажень. Дозволяє математично змодельовати роботу конструкції, в тому числі елементів з пластичних і композитних матеріалів під впливом змінного в часі навантаження (підсистема «ДИНАМІКА+»).
- Визначення НДС від ліній впливу (підсистема «МІСТ»).
- Визначення НДС на різних стадіях зведення будинку, тобто накопичення НДС від послідовного включення/виключення елементів з роботи (підсистеми «МОНТАЖ» і «МОНТАЖ+»).
- Визначення першої форми втрати стійкості і найменшого коефіцієнту запасу (підсистема ЛІР-СТАБ).
- Визначення коефіцієнтів пружної основи С1, С2; моделювання конструкції на масиві ґрунту (підсистема ГРУНТ).

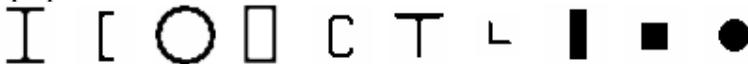
Крім цього до ПК ЛІРА-САПР входить багато допоміжних інструментів, таких як різноманітні інструменти по обміну даними з іншими програмами, редагування сортаментів сталевих профілів (ЛІР-РС), визначення геометричних характеристик довільних поперечних перерізів стержневих елементів (ЛІР-КС та ЛІР-КТС), інструменти для графічного аналізу НДС, формування табличних та графічних результатів розрахунку.

Тепер, в цілому познайомившись можливостями ПК ЛІРА-САПР, ми більш докладно розглянемо ці можливості щодо інженерних розрахунків металевих конструкцій.

1.5.2. Можливості конструювання елементів конструкцій та їх вузлів

Розрахунок конструкції полягає в розрахунку її елементів та їхніх з'єднань. ПК ЛІРА-САПР вмiє інженерними методами розраховувати стержневі елементи металевих конструкцій: колони, балки, ферми та вузли таких конструкцій. Ось їхній перелік.

Профілі:



Парні кутики і швелери:



Зварні елементи²:



Елементи зі з'єднувальними планками:



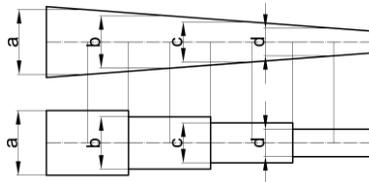
Елементи з трикутною з'єднувальною решіткою:



Сталевий трос чи канат: 

Незважаючи на те, що перелік досить довгий, можна вигадати й інші перерізи елементів, відсутні в ньому. Що робити, коли треба розрахувати, наприклад, зварну балка з поясами зі швелерів Т? Такий переріз можна звести до еквівалентного перерізу «зварна балка з листів» І і розрахувати. Такий прийом підтримує безпосередньо сам ПК ЛПРА-САПР (рис 1.6).

Елементи змінного по довжині поперечного перерізу також можна змодельовати, якщо розбити елемент змінного по довжині поперечного перерізу на декілька елементів однакового перерізу. Розміри перерізів ділянок будуть дорівнювати розміру змінного перерізу в середині скінченного елемента:



² ЛПР-СТК дозволяє врахувати при розрахунку поперечні ребра жорсткості, але не розраховує перерізи з поздовжніми ребрами жорсткості.

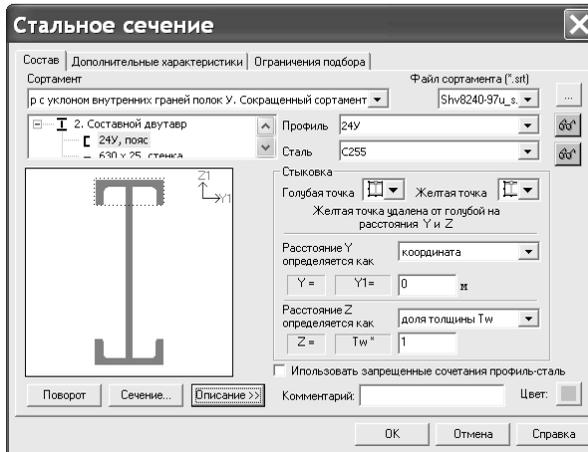


Рис. 1.6 Конструировання перерізу Γ , еквівалентного Γ

Якщо перерізи неможливо привести до відомих і розрахувати інженерними методами, доведеться звернутись до чисельних методів дослідження, наприклад, змодельовавши елемент оболонковими елементами (рис. 1.7).

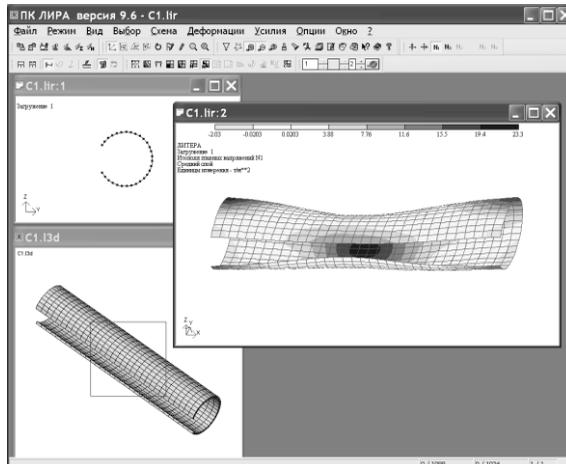
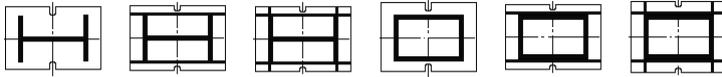


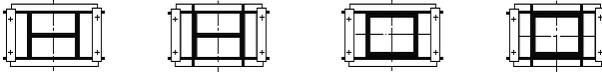
Рис. 1.7 Розрахунок нестандартного перерізу

Далі – типи вузлів металевих конструкцій, що розраховуються в ПК ЛІРА-САПР.

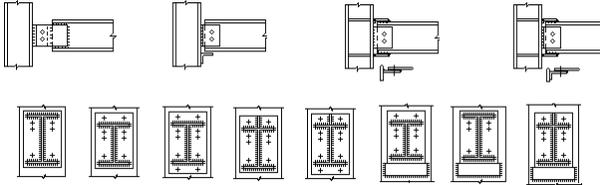
Шарнірні бази колон:



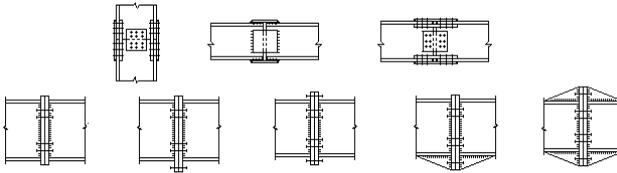
Жорсткі бази колон:



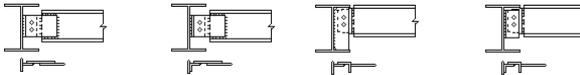
Шарнірне, жорстке та фланцеве примикання балки до колони:



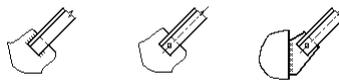
Монтажні стики колон та балок на накладках і фланцях:



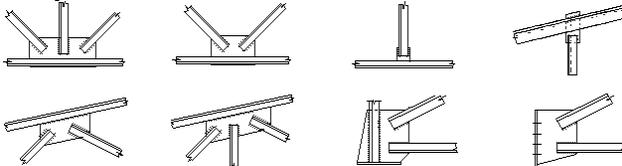
Примикання балок:



Примикання зв'язку:



Фермові вузли:



Таким чином ПК ЛІРА-САПР може розрахувати 45 типів вузлів. Багато це чи мало? Якщо ми говоримо про всі вузли, то 45 – крапля в морі з конструктивного різномайття вузлів металевих конструкцій. Але давайте трохи поміркуємо. Кожен з вузлів складається зі з'єднань пар елементів між собою. Розрахунок вузлів полягає в розрахунку елемента в зоні вузла, можливо, ослабленого отворами або зварними швами, та розрахунку додаткових елементів вузла: накладок, фасоннок, зварних швів, болтів. Якщо ми розділимо вузол на пари з'єднань, то виявиться, що типів таких з'єднань вже набагато менше. Тобто, за допомогою ПК ЛІРА-САПР можна розрахувати не 45 типів вузлів, а стільки типів вузлів, скільки дозволяють комбінації з цих 45 – набагато більше. А для автоматичної генерації креслень тих вузлів, які не входять в 45 вищезгаданих, в ПК ЛІРА-САПР передбачений дуже простий інструмент *Складні вузли* (рис. 1.8). З допомогою цього інструмента можна сформувати об'єкт «Складний вузол», і додати до нього декілька «простих вузлів», вузлів, типи яких вміє розраховувати ПК ЛІРА-САПР. З об'єднаних таким чином в один об'єкт декількох вузлів з допомогою інструментів підсистеми КМ-САПР конструюється єдина тривимірна модель вузла і належні креслення (див. рис. 1.8).

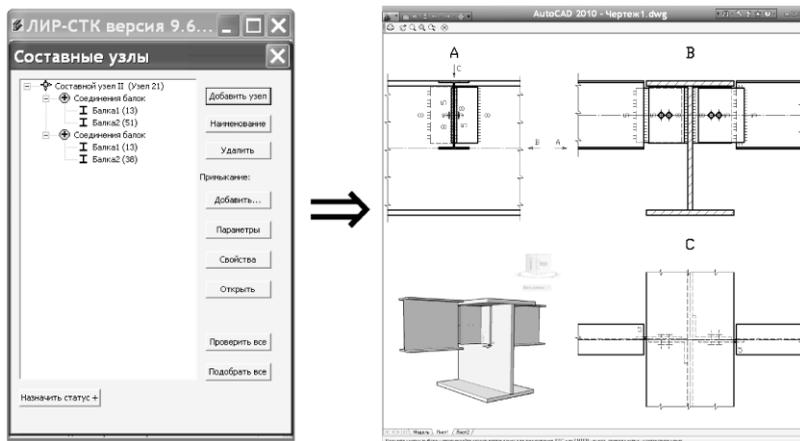


Рис. 1.8 Інструмент ПК ЛІРА-САПР «Складні вузли» та автоматично згенеровані креслення складного вузла (СТК-САПР ⇒ КМ-САПР)

Нажаль, навіть таким «хитрим» способом не вдається охопити всі різноманітні вузли. Можливо, тоді стане в нагоді дві спеціалізовані програми з іншого комплексу програм під назвою *ЕСПРІ*. ЕСПРІ (рос. Электронный СПРавочник Инженера) не має таких потужних інструментів для дослідження НДС як ПК ЛПА-САПР, зате він зручніший для розв'язання невеликих задач, пов'язаних з розрахунком міцності будівельних конструкцій. Всі програми, об'єднані в ЕСПРІ теж невеликі і схожі на статті інтерактивного довідника по інженерним методам. ЕСПРІ містить поміж інших розрахунків найпростіших з'єднань металоконструкцій: зварного і болтового (рис. 1.9).

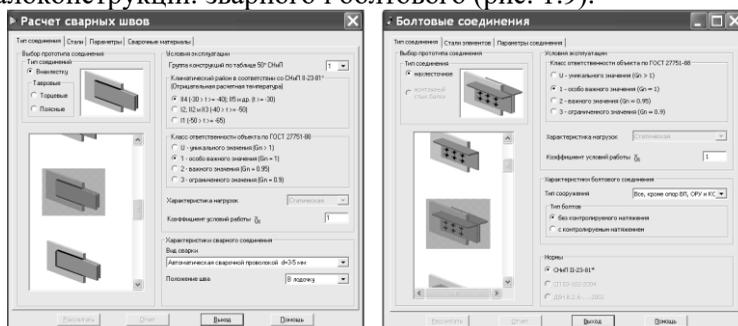


Рис. 1.9 Програми розрахунку зварних швів та болтів комплексу програм ЕСПРІ

Тепер ми вже знаємо, в чому ПК ЛПА-САПР може підміняти інженера, а в чому – ні. ПК ЛПА-САПР автоматизує розрахунок найпоширеніших інженерних задач, а для інших надає інструменти для чисельного моделювання. Докладний опис методів чисельного моделювання НДС виходить за рамки цього посібника. Ми адресуємо зацікавленого читача до спеціалізованої літератури, наприклад «Комп'ютерні моделі конструкцій»¹, чи «Метод скінченних елементів: теорія і числова реалізація»² і далі поринемо в деталі використання інженерних методів, реалізованих в ПК ЛПА-САПР.

¹ Городецкий А. С., Евзеров И. Д. Компьютерные модели конструкций. – К.:ФАКТ, 2005 – 146 стр.

² Метод конечных элементов: теория и численная реализация / Городецкий А.С. и др. – К.:ФАКТ, 1997 – 138 стр.

Як користуватися ПК ЛПА-САПР для інженерного розрахунку стержневих елементів металевих конструкцій та їхніх вузлів? Як отримати робочі креслення з допомогою ПК ЛПА-САПР? Про це наступні розділи.

1.6. Основи автоматизованого розрахунку стержневих елементів металевих конструкцій

Було б чудово наказати: «Комп'ютеру, дороженький, ану ж мо розрахуй мені будиночок на 12 поверхів з розмірами в плані 15 на 60 метрів! І не забудь робочі креслення і каву для мене!» Але дійсність невблаганна і, щоб отримати результати розрахунку, доводиться уважно і не один раз вводити вихідні дані і пересвідчуватись в достовірності результатів.

Для інженерного розрахунку елементів металевих конструкцій в ПК ЛПА-САПР призначена підсистема СТК-САПР. Розрахунок стержневих елементів проводиться за вітчизняними нормами СНиП 2.23.81* або за зарубіжними нормами: євронормами Eurocode 3.1.1 ENV 1993-1-1:1992 чи нормами США LRFD (AISC) 2nd edition. Методика розрахунку по Єврокод та LRFD (LRFD = Load and Resistance Factor Design = розрахунок по коефіцієнтам навантажень та опору) з використанням ПК ЛПА-САПР не відрізняється від розрахунку по СНиП. Дещо відрізняються лише перелік вхідних даних та вихідних даних в таблицях результатів, але форма вхідних і вихідних даних залишається незмінною. Правда, в розрахунку по євронормах є один додаток, якого немає ані в розрахунку по елемента по СНиП, ні в розрахунку по LRFD: після розрахунку елемента по Єврокод можна отримати трасування, тобто повний, роздрукований крок за кроком, хід розрахунку. Хоч такий корисний додаток і може допомогти у вивченні євронорм, та в цьому посібнику ми обминемо розрахунок по Єврокод та LRFD і зосередимось тільки на розрахунку по СНиП 2.23.81*.

Вихідні дані для розрахунку. Вихідними даними для розрахунку елементів є форма та розміри поперечного перерізу, довжина елемента, зусилля, які виникають в елементі та деякі додаткові дані. Якщо форм, розміри поперечного перерізу, довжина елемента та зусилля приходять з вихідних даних і

результатів статичного розрахунку, то решту даних доводиться задавати безпосередньо перед розрахунком по СНиП в підсистемі СТК-САПР. Додатковими даними для розрахунку є матеріал поперечного перерізу, розрахункові довжини елементів, допустима гнучкість, допустимий прогин елемента та умови закріплення.

Результати розрахунку. Результатами розрахунку є результати перевірок по формулам СНиП 2.23.81*. Що це за числа? Результат кожної перевірки по формулі СНиП в СТК-САПР виглядає таким чином:

$$\% = \frac{\sigma}{R} \cdot 100\%$$

Тут σ – дійсне значення параметра, який перевіряється, R – опір елемента, тобто допустиме або граничне значення. Як видно, результати перевірок виражаються в процентах. Наприклад, перевірка міцності розтягнутого елемента виражається так: $N/A \leq R_y \cdot \gamma_c$, тоді $\sigma = N/A$, $R = R_y \cdot \gamma_c$, тобто σ в даному разі – напруження в центрально розтягнутому елементі, а R – розрахунковий опір сталі з урахуванням коефіцієнту умов роботи.

$$\% = \frac{\sigma}{R} \cdot 100\% = \frac{N/A}{R_y \cdot \gamma_c} \cdot 100\%$$

При перевірці прогину дійсне значення параметра σ дорівнюватиме реальному прогину f , а допустиме значення R дорівнюватиме допустимому прогину $[f]$. Перевірка граничного прогину виглядатиме так:

$$\% = \frac{\sigma}{R} \cdot 100\% = \frac{f}{[f]} \cdot 100\%$$

Число, отримане по формулі (1.1), називається *процентом використання несучої спроможності*. Процент використання несучої спроможності в елементі має бути менше 100%. Якщо процент використання більший за 100%, то відповідна вимога норм не дотримана. При розрахунку елемента по кожній з необхідних за СНиП формул виводиться процент використання несучої спроможності.

Елемент	НС	Група	Шаг ребер (планок)	Фb min	Проценты исчерпания несущей способности балки по сечениям, %										Длина элемента
					нор	тау	с1	УБ	Прг	УС	УП	1ПС	2ПС	М.У	
Сечение: 3. Двутавр 35Ш2															
Профиль: 35Ш2; СТО АСЧМ 20-93															
Сталь: С245; ГОСТ 27772 - 88															
Сортамент: СТО АСЧМ 20-93. Широкополочные двутавры. Сокращенный сортамент															
1554	1	КБ6	0.00	1.000	37	24	27	0	8	32	39	37	8	39	6000.00
1554	2	КБ6	0.00	1.000	33	23	25	0	8	32	39	33	8	39	6000.00
1554	3	КБ6	0.00	1.000	29	22	23	0	8	32	39	29	8	39	6000.00

Рис. 1.10 Приклад таблиці результатів

Наприклад, на рис. 1.10 в таблиці результатів *нор* – процент використання несучої спроможності по нормальним напруженням *тау* – по дотичним, і т.д. Більш докладно кожен з процентів використання несучої спроможності розглянутий в наступних розділах. Ці ж проценти використання можна проглянути графічно в вигляді мозаїки (рис. 1.11). Можна також відшукати елементи на схемі по їхньому проценту, наприклад, елементи, в яких процент використання несучої спроможності більше 100%, тобто елементи, вимоги СНиП в яких не виконуються за допомогою інструмента «ПоліФільтр».

Підбір поперечного перерізу елементу. Як вже було сказано, розрахунок СТК-САПР полягає в перевірці чи підборі елементів. Підбір елементу в СТК-САПР – це вибір з таблиці сортментів профілю, який задовольняє всім перевіркам СНиП, тобто такого, у якого всі проценти несучої спроможності менші 100%. Порядок підбору – від першого до останнього рядка таблиці сортаменту. Таблиці сортаментів, які використовує ПК ЛІРА-САПР, можна редагувати, доповнюючи нові, видаляючи непотрібні профілі та змінюючи їхній порядок у таблиці. Початково всі таблиці сортаменту відсортовані по площі поперечного перерізу, але можна відсортувати їх в будь-якому іншому порядку. Наприклад, можна відсортувати двотаври в таблиці по висоті. Тоді підбиратися буде не двотавр з мінімальною масою, а двотавр з мінімальною висотою. Для редагування таблиць сортаментів служить програма ЛІР-РС (Редактор Сортаментів).

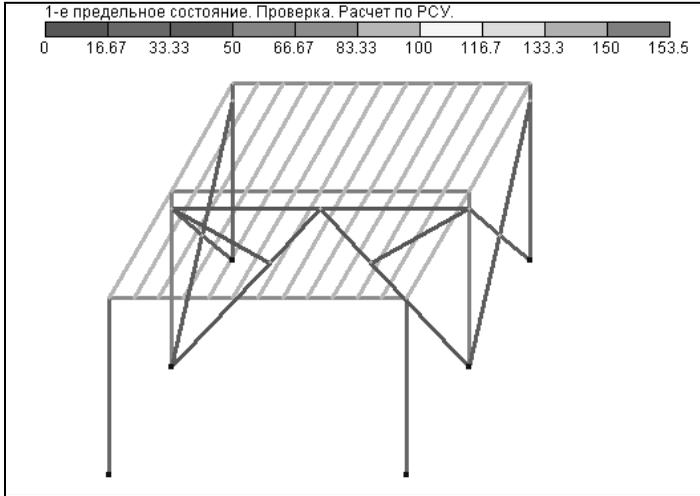


Рис. 1.11 Мозаїка результатів

Локальний розрахунок. Якщо необхідно розрахувати не цілий будинок, а одну балку чи одну колону, складати розрахункову схему в ПК ЛІРА-САПР і виконувати статичний розрахунок незручно. Для цього більше підходить *локальний розрахунок елемента*. Локальний розрахунок дозволяє розрахувати елемент, користуючись тільки засобами СТК-САПР. Для цього необхідно повністю задати вихідні дані, в тому числі внутрішні зусилля, які діють в елементі. Можна також використовувати локальний режим розрахунку для розрахунку елемента розрахункової схеми. Це зручно, коли необхідно виконати кілька перевірок одного й того ж елемента, наприклад, варіюючи перерізи двотавр–коробка–швелер, щоб визначитися з найкращим. Варіювати можна не тільки поперечний переріз, але й розрахункові зусилля, наприклад, щоб визначити, чи витримає цей елемент додаткове навантаження (рис. 1.12).

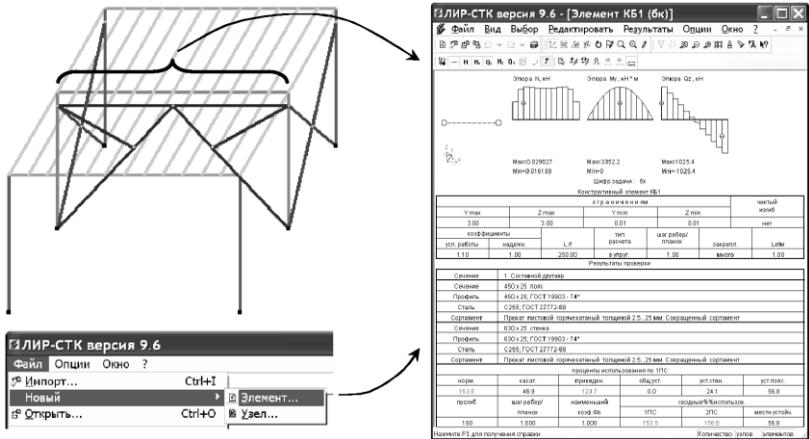


Рис. 1.12 Локальний розрахунок елемента розрахункової схеми та незалежний розрахунок

Познайомившись з принципами розрахунку елементів в СТК-САПР, перейдемо до його докладного розгляду.

1.6.1. Вихідні дані для розрахунку

Отже, вихідними даними для розрахунку є зусилля, поперечний переріз елемента та матеріал поперечного перерізу, довжина елемента, розрахункова довжина елемента, допустима гнучкість, допустимий прогин елемента та умови його закріплення. Ще деякі дані необхідно задати, щоб правильно обрахувати прогин елементів. Розрахунок з врахуванням вимог ДБН В.1.1–12:2006 «Будівництво у сейсмічних районах України» не вимагає від користувача СТК-САПР вводу додаткових даних, але теж буде коротенько проілюстрований в цьому розділі. Перед розрахунком можна також задати уніфікацію зусиль в елементах та створити конструктивні елементи, але про уніфікацію і конструктивні елементи йтиметься в наступному розділі.

Звичайно, насправді розрахунок конструкції починається з побудови розрахункової схеми для статичного розрахунку і визначення розрахункових зусиль, як було вказано на рис. 1.1, «Процес проектування металевих конструкцій в ПК ЛІРА-САПР». Але в цьому посібнику ми не зачіпатимемо велику тему побудови моделей методу скінченних елементів (МСЕ). Лише повторимо вже

сказане: для побудови МСЕ моделі необхідно як мінімум розмістити скінченні елементи в просторі і зв'язати їх вузлами для сумісної роботи; накласти відповідні в'язи, можливо шарніри; попередньо призначити поперечні перерізи елементів; навантажити елементи, згрупувавши навантаження у завантаження. Єдиним новим кроком, про який ще не згадувалося, є побудова сполучень завантажень або сполучень зусиль. Про завантаження, сполучення завантажень та сполучення зусиль йтиметься далі в цьому розділі.

Зусилля, які виникають в елементі, визначаються при статичному розрахунку. Статичний розрахунок ПК ЛІРА-САПР може вираховувати три види зусиль: від окремих *завантажень*, від *сполучень навантажень* та *сполучень зусиль*. Поняття *завантаження* ми розглянули на початку розділу 1.6, нагадаємо, що завантаження, наприклад, снігове навантаження – це група навантажень однакового походження, які діють на елементи розрахункової схеми одночасно. Зусилля від окремих завантажень використовуються для розрахунку елементів досить нечасто, бо ДБН В.1.2–2:2006 «Навантаження та впливи» зобов'язує проектувальника поєднувати навантаження у сполучення. Воно й зрозуміло: найбільші зусилля в елементах виникнуть не під дією якогось одного завантаження, скажімо, постійного, а скоріше за все – від дії постійного навантаження в сполученні з іншими, наприклад: з корисним, або корисним і сніговим. Зусилля від сполучень навантажень в ПК ЛІРА-САПР називаються РСН (Расчетные Сочетания Нагрузок), а від сполучення зусиль – РСУ (Расчетные Сочетания Усилий). Між розрахунком зусиль по РСН та РСУ є принципова відмінність.

Розрахункові сполучення навантажень (РСН). Перед розрахунком зусиль по РСН необхідно самостійно задати коефіцієнти, з якими навантаження будуть використовуватись. Виходячи з норм проектування, формуються коефіцієнти до кожного завантаження, наприклад:

$$1,0 \cdot \text{Вага} + 1,4 \cdot \text{Сніг} + 1,7 \cdot \text{Вітер}$$

Це значить, що програма вирахе зусилля N, M, Q від завантажень «Вага», «Сніг», «Вітер», і складе їх у сумарні зусилля з коефіцієнтами, відповідно, 1,0; 1,4; 1,7.

$$N_{\text{сум}} = 1,4 \cdot N_{\text{вага}} + 1,4 \cdot N_{\text{сніг}} + 1,7 \cdot N_{\text{вітер}}$$

$$M_{\text{сум}} = 1,4 \cdot M_{\text{вага}} + 1,4 \cdot M_{\text{сніг}} + 1,7 \cdot M_{\text{вітер}}$$

$$Q_{\text{сум}} = 1,4 \cdot Q_{\text{вага}} + 1,4 \cdot Q_{\text{сніг}} + 1,7 \cdot Q_{\text{вітер}}$$

тут $N_{\text{вага}}$, $M_{\text{вага}}$, $Q_{\text{вага}}$ – зусилля від власної ваги,

$N_{\text{сніг}}$, $M_{\text{сніг}}$, $Q_{\text{сніг}}$ – зусилля від снігового навантаження,

$N_{\text{вітер}}$, $M_{\text{вітер}}$, $Q_{\text{вітер}}$ – зусилля від вітрового навантаження.

Подальший розрахунок елементів металевих конструкцій і підбір арматури виконується на сумарні навантаження. При використанні РСН неможливо довести, що зусилля саме з такими коефіцієнтами дадуть найнебезпечніші навантаження.

Розрахункові сполучення зусиль (в програмі РСУ). Цей метод обчислення розрахункових зусиль подібний до попереднього з тією відмінністю, що коефіцієнти при кожному завантаженні вираховуються автоматично, в залежності від типу навантаження. Коефіцієнти при навантаженнях вибираються такими, щоб досягти максимального значення *критерію*. В ПК ЛІРА-САПР такими критеріями для стержневих елементів є нормальні напруження в найвіддаленіших від центру точках перерізу, дотичні напруження в точках на середині сторін перерізу, а також найбільші і найменші поздовжні зусилля, моменти і перерізуючі сили. Такий вибір критеріїв РСУ є реалістичним, бо дозволяє отримати екстремальні значення зусиль та напружень в елементі, які є провідними при розрахунку елементів. Тобто, якщо користуватись РСУ, то для кожного елемента будуть знайдені власні, найбільш небезпечні сполучення навантажень.

Отже, РСУ гарантовано підбирає найнебезпечнішу комбінацію зусиль, і здавалося б, ефективніший за РСН. Але і в нього є свої мінуси. Так, РСУ шукає найнебезпечніші комбінації зусиль, використовуючи принцип суперпозиції. Нагадаємо його: результат впливу кількох сил є проста сума результатів впливу кожної з цих сил. Отже, коли необхідно дослідити результат послідовного прикладання сил, наприклад, вигин, потім стиск – РСУ непридатний. Оскільки в РСУ комбінації знаходяться окремо для кожного елемента, неможливо побудувати епюри зусиль і переміщень (деформовану схему) для всієї схеми. РСН, навпаки, дозволяє врахувати послідовну зміну геометрії системи від навантажень і побудувати для всієї схеми епюри зусиль і деформовану схему, але, хоч і дуже рідко, може пропустити невідповідну комбінацію зусиль. В найскладнішому випадку можна скористатися обома інструментами: спочатку виконати розрахунок

по РСУ, щоб знайти найнебезпечніші комбінації, а потім на їх основі складають РСН.



РСН і РСУ – це два способи розв’язання однієї і тієї ж задачі визначення найбільш небезпечних сполучень навантажень. Перший підхід заснований на обчисленні розрахункових сполучень навантажень (РСН) і відповідних їм зусиль на підставі нормованих формул. Такий підхід прийнятий як основний в країнах Європи і США. Він витікає з оцінки вірогідності внеску того або іншого навантаження в підсумковий напружено–деформований стан споруди. Для кожної споруди розглядається завжди однаково обмежена кількість сполучень. Другий підхід (РСУ), запропонований радянською школою і заснований на принципі суперпозиції, справедливий для систем, що лінійно деформуються. Задача визначення небезпечних сполучень навантажень перетворена в задачу визначення небезпечних сполучень зусиль (РСУ).

Якщо виконується розрахунок елемента, для якого не виконувався статичний розрахунок, тобто виконується незалежний розрахунок (див. рис. 1.12), то розрахункові зусилля необхідно задати в таблиці зусиль (рис. 1.13). В локальному режимі розрахунку зусилля, які прийшли зі статичного розрахунку, можуть бути змінені, в цієї ж таблиці зусиль.

N	КЗ	сек.	N,кН	M,кН*м	Q,кН	M _x ,кН*м	Q _x ,кН	M _y ,кН*м	Q _y ,кН	Нагрузки	Со
1	13	1	0.016	0.000	1025.439	-0.040	-1.878	Постоянные	1		
2	13	2	0.016	1024.311	1023.184	1.838	-1.878	Постоянные	1		
3	14	1	0.027	1024.257	839.200	1.817	1.515	Постоянные	1		
4	14	2	0.027	1862.370	836.945	0.302	1.515	Постоянные	1		
5	15	1	0.030	1862.359	852.962	0.304	0.415	Постоянные	1		
6	15	2	0.030	2514.130	850.707	-0.111	0.415	Постоянные	1		
7	16	1	0.029	2514.183	466.724	-0.107	-0.050	Постоянные	1		
8	16	2	0.029	2979.779	464.468	-0.057	-0.050	Постоянные	1		
9	17	1	0.028	3670.773	390.488	0.085	0.042	Постоянные	1		

Рис. 1.13 Зусилля для локального розрахунку

Поперечний переріз елемента визначає процедуру, по якій цей елемент буде розраховуватись. Наприклад, тип перерізу «двотавр» визначає, що переріз буде розраховуватись по алгоритму

двотаврової балки або двотаврової колони. Перелік поперечних перерізів, які може розраховувати СТК-САПР, приведений в попередньому розділі 1.2, «Типи перерізів та вузлів». Сталеві профілі, а також їхній матеріал задається в таблицях сортаменту, які можна редагувати та доповнювати з програми ЛІР-РС (рис. 1.14).

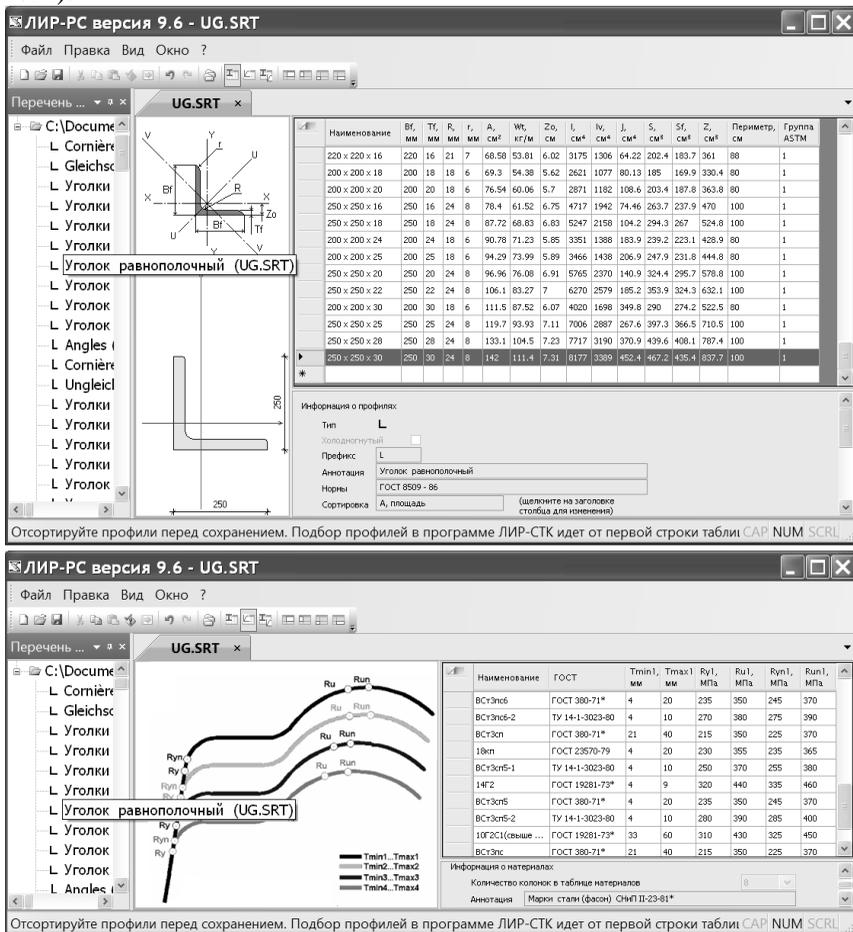


Рис. 1.14 Редагування таблиці профілів та таблиці матеріалів сортаменту

Використання редагованих таблиць сортаменту дає певні переваги. По-перше, можна доповнити таблиці профілями і матеріалами, які відсутні в них початково і видалити профілі, які не

слід використовувати. По–друге, порядок рядків в сортаменті визначає порядок підбору, і відсортувавши таблицю сортаменту по необхідному параметру (початково вони відсортовані в порядку зростання площі поперечного переріза), можна отримати інший результат при підборі профілю. І по–третє, в сортамент можна ввести *еквівалентні* профілі. Для пояснення поняття «еквівалентний профіль» скористаємось наступним прикладом. Припустімо, що СТК-САПР не вміє розраховувати зварний двотавр Γ , зате вміє розраховувати прокатний двотавр Γ . Тоді, щоб розрахувати наш зварний двотавр, ми в таблицю сортаменту прокатних двотаврів додаємо рядок, який за розмірами і геометричними характеристиками відповідає поперечному перерізу зварного двотавра Γ . Після цього ми можемо розрахувати наш зварний двотавр за алгоритмом прокатного, який дуже схожий на нього. Насправді СТК-САПР, звичайно, вміє розраховувати зварні двотаври, але обов'язково знайдеться якийсь переріз, який СТК-САПР розраховувати не вміє. Задавши еквівалентний профіль у сортаменті, можна розрахувати його за відомими алгоритмами. Нагадаємо, що крім зведення невідомих перерізів до еквівалентних профілів, ПК ЛПРА-САПР дозволяє конструювати складні профілі (див. рис. 1.6, «Конструювання перерізу Γ , еквівалентного Γ »).

Додаткові дані для розрахунку. СНиП 2.23–81* виділяє три види розрахунку елементів металевих конструкцій: 1) елементи під дією осьової сили, тобто елементи ферми, 2) елементи під дією згину, тобто елементи балок та 3) елементи під дією осьової сили зі згином, тобто елементи колон. Розрахункові формули для цих трьох елементів відрізняються. Тому перед початком розрахунку необхідно знати, по якій гілці алгоритмів буде розраховуватись елемент. Щоб вказати гілку розрахункового алгоритму, в вихідних даних СТК-САПР необхідно вказати *тип елемента*. Типів елемента чотири: *канат, ферма, балка, колона*. Крім вибору гілки алгоритму, тип елемента зменшує кількість вихідних даних, які необхідно задавати. Наприклад, якщо для балок необхідно задавати умови закріплення і завантаження, щоб розрахувати загальну стійкість балки, то для колон умови закріплення не задаються.

Як видно з таблиці, крутний момент M_x не враховується в жодному типі. На жаль, крутний момент не фігурує в формулах СНиП, і під час проектування металевих конструкцій слід так

будувати конструктивну схему, щоб крутний момент не виникав. СТК-САПР не робить ніяких перевірок, чи є в елементі невраховані сили, а просто ігнорує їх. Якщо, наприклад, призначити елементу, в якому виникають згинаючі моменти, тип «Ферма», то згинаючі моменти будуть проігноровані і розрахунок буде не правильним. Тип елемента – дуже важливий для розрахунку параметр!

Таблиця 1.1

Типи елементів СТК-САПР

	Зусилля, які враховуються під час розрахунку	
Канат	$N+$	Тільки розтягуюча сила
Ферма	N	Тільки осьова сила
Балка	M_y, Q_z, M_z, Q_y	Згинаючі моменти і перерізуючі сили
Колона	N, M_y, Q_z, M_z, Q_y	Осьова сила, згинаючі моменти і перерізуючі сили

Додаткові вихідні дані в залежності від типу елемента приведено на рис. 1.15. В цьому навчальному посібнику ми не будемо докладно коментувати додаткові дані кожного з типів елементів, лише прокоментуємо їх в цілому.

Канат може бути врахований по нормам СНиП 2.23–81* «Сталеві конструкції» чи по нормам СНиП 2.05.03–84 «Мости та труби», в залежності від цього задаються вихідні дані.

У всіх додаткових даних задається *коефіцієнт умов роботи γ_c* та коефіцієнт надійності за відповідальністю *γ_n* . Коефіцієнтом умов роботи *γ_c* враховують вплив конструктивної форми споруди різного призначення та умовності їх розрахункових схем, характеру та тривалості зовнішнього навантаження, його багаторазового повторення, температуро-вологісного режиму експлуатації та інших факторів. Значення коефіцієнтів умов роботи *γ_c* подані у СНиП П-23-81* [2]. Коефіцієнтом надійності за відповідальністю *γ_n* , враховують значущість наслідків можливого прояву того чи іншого граничного стану та рівень можливих матеріальних збитків і соціальних втрат, пов'язаних із припиненням експлуатації об'єкта. Згідно з діючими нормативними документами [43, 44], споруди поділені на три класи відповідальності за рівнем наслідків відмови конструкції. У розрахунковому комплексі врахувати коефіцієнт надійності за відповідальністю *γ_n* можна одним з двох способів:

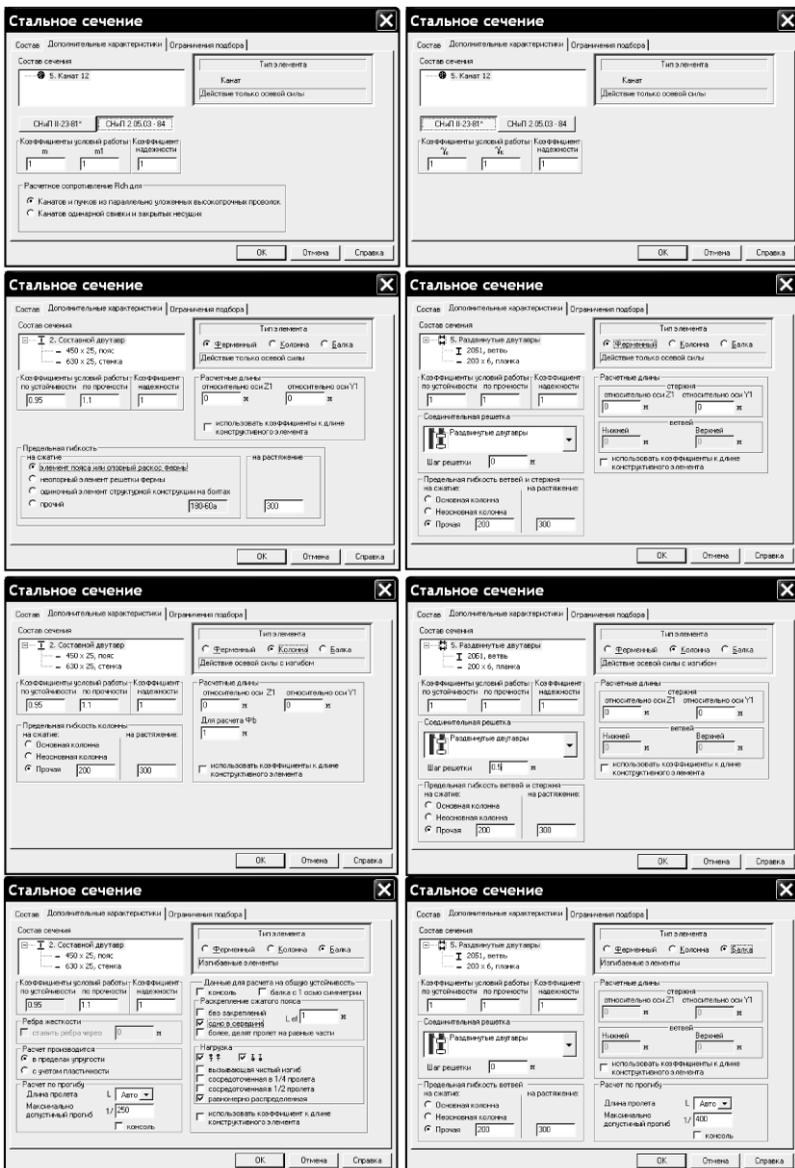


Рис. 1.15 Вихідні дані для розрахунку елементів металевих конструкцій по СНІП II-23.81*

1. При створенні навантажень в програмі ВІЗОР-САПР. Тоді коефіцієнт надійності за відповідальністю γ_n треба враховувати при заданні величини навантаження. Якщо, скажімо, експлуатаційне значення навантаження $q_n = 2 \text{ т/м}^2$, а граничне $q = 2,4 \text{ т/м}^2$, то з врахуванням коефіцієнта $\gamma_n = 0,95$ їхні величини треба задавати, відповідно, $q_n = 2 \cdot 0,95 = 1,9 \text{ т/м}^2$, та $q = 2,4 \cdot 0,95 = 2,28 \text{ т/м}^2$.

2. В додаткових даних розрахунку в програмі СТК-САПР. Тоді коефіцієнт надійності за відповідальністю γ_n увійде в усі формули СНиП як додатковий множник при зусиллях. Скажімо, формула, для визначення, міцності на розтяг буде не такою: $N/A \leq R_y \cdot \gamma_c$, а ось такою: $\gamma_n \cdot N/A \leq R_y \cdot \gamma_c$.

Враховувати коефіцієнт γ_n двічі не можна: якщо коефіцієнт γ_n був врахований в програмі ВІЗОР-САПР, то в СТК-САПР він має дорівнювати 1. І навпаки, якщо величини навантажень не множились на коефіцієнт надійності за відповідальністю γ_n , то в програмі СТК-САПР він має дорівнювати своєму реальному значенню, а не 1.

Для елементів ферми та колон задаються *розрахункові довжини*. В прикладах розрахунків колон чи ферм в підручниках по металевим конструкціям під час розрахунків на стійкість використовується тільки одна розрахункова довжина, а в СТК-САПР необхідно задати їх декілька. Чому? Тому що автоматичний розрахунок, який виконує СТК-САПР, має бути формалізованим, тобто виконувати *всі* перевірки, які формально вимагає СНиП. Якщо в ручному розрахунку відразу ясно, між якими закріпленнями і в якій площині має розраховуватись стиснений елемент, то для комп'ютера це стає ясно лише після того, як він вирахував гнучкість λ , а для розрахунку найменшої гнучкості необхідна розрахункова довжина в обох площинах поздовжнього згину. Отже, для розрахунку стійкості по СТК-САПР необхідно задати як мінімум дві розрахункові довжини: в площині найбільшої і найменшої жорсткості. Звідки взяти розрахункові довжини? Можна розрахувати вручну, відповідно до розділу 6 СНиП 2.23–81* «Сталеві конструкції» або знову скористатись невеличкою програмою з комплексу програм ЕСПРІ, про який ми вже згадували в розділі 1.6.2 «Типи перерізів та вузлів». Програма так і називається: «Визначення розрахункових довжин елементів металевих конструкцій», рис. 1.16.



Рис. 1.16 Програма «Визначення розрахункових довжин елементів металевих конструкцій»

Для балок розрахунковою довжиною для розрахунку на стійкість є відстань між закріпленнями стисненого пояса L_{ef} . Якщо величина моменту в позacentрово-стисненій колоні велика в порівнянні з величиною стискаючої сили, тоді для перевірки колони використовується формула

$$\frac{N}{c\varphi_y A} \leq R_y \gamma_c, \quad \text{де } c = \frac{1}{1 + m_x \varphi_y / \varphi_b}, \quad \text{а } \varphi_b \text{ є функцією від } L_{ef}.$$

Тобто, в деяких випадках під час розрахунку стійкості колони необхідно знати відстань між закріпленнями стисненого пояса. Тому при розрахунку колон суцільного перерізу СТК-САПР вимагає задати $i L_{ef}$, яке на рис. 1.15 називається «розрахункова довжина для розрахунку Φ_b ». Як правило, ця величина має співпадати з однією з двох інших розрахункових довжин. Для елементів коробчатого перерізу величину «розрахункова довжина для розрахунку Φ_b » можна з легким серцем задавати як 0, бо під час розрахунку стійкості коробчатих перерізів величина φ_b завжди приймається як $\varphi_b=1$. Для елементів зі з'єднувальною решіткою або з'єднувальними планками, для яких величина φ_b також завжди приймається як $\varphi_b=1$, «розрахункова довжина для розрахунку Φ_b » взагалі не задається. Крім того, що СТК-САПР виконує розрахунок всієї колони як одного стержня, кожна з гілок елемента, з'єданого решіткою або планками розраховується ще й окремо. Розрахунок на стійкість гілки колони також виконується в двох площинах: в

площині, паралельній площині з'єднувальної решітки або планок та в площині, перпендикулярній площині з'єднувальної решітки. Тому крім двох розрахункових довжин, які використовуються для розрахунку колони як стержня, необхідно задати розрахункову довжину гілки двогілкової колони в площині, перпендикулярній площині з'єднувальної решітки. Ця величина називаються на рис. 1.15 «Расчетная длина – ветви – нижней» та «Расчетная длина – ветви – верхней». Розрахункова довжина гілки двогілкової колони може залежати від розташування вертикальних Х – подібних чи К – подібних зв'язків: якщо зв'язки однаково розв'язують обидві гілки колони, тоді розрахункова довжина гілки така ж, як і розрахункова довжина колони. Якщо ж, наприклад, зовнішня гілка колони додатково розв'язана стіновими панелями, то для зовнішньої гілки розрахункову довжину можна зменшити.

Розділ 6 СНиП 2.23.81* «Сталеві конструкції» встановлює обмеження на гнучкість елемента. В залежності від того, стиснений елемент чи розтягнутий, СНиП встановлює відповідне значення граничної, тобто максимально допустимої гнучкості елемента λ . Під час задання вихідних даних програмі ще невідомо, стискаючі чи розтягуючі сили будуть в елементі, тому в додаткових даних задаються обидві величини. Оскільки балка з наскрізним перерізом працює як ферма, то для такої балки також необхідно задати максимально допустиму гнучкість її гілок.

Для балок встановлюється граничне значення прогину. Для балок суцільного перерізу задаються також умови закріплення і розташування сил для розрахунку на загальну стійкість. Нагадаємо, що для балок коробчатого перерізу ці дані можна не задавати, оскільки для них величина φ_b у формулі розрахунку загальної стійкості балки

$$\frac{M}{W_c \varphi_b} \leq R_y \gamma_c$$

завжди приймається як $\varphi_b=1$. Для решітчастих елементів умови закріплення і розташування сил в вихідних даних не задаються по цій же причині.

Уважний читач помітив, що крім закладок «Состав» та «Дополнительные характеристики» на рис.1.15 є ще й закладка «Ограничения подбора». Розвіємо таємницю і цієї загадкової

закладки: в закладці «Ограничения подбора» можна обмежити висоту, ширину перерізу та мінімальну товщину профілю на час підбору.

Поперечний переріз та додаткові дані задаються з одного й того ж вікна «Стальное сечение». При розрахунку задачі, що складається з одного елемента, тобто під час локального розрахунку (див. рис. 1.12) сумнівів щодо того, до якого елемента відносяться ці дані, не виникає, а при розрахунку в СТК-САПР розрахункової схеми ПК ЛПА-САПР (див. рис. 1.11) додаткові дані відносяться до кожного сталевого поперечного переріза, який призначений елементам. Тобто для виконання розрахунку в СТК-САПР необхідно як мінімум зайти в кожен поперечний переріз і призначити йому додаткові дані.

Як вже було зазначено на початку цього розділу, ще дещо необхідно задати для правильного розрахунку прогинів елементів типу «балка».

Дані для розрахунку прогинів балок. В додаткових даних для розрахунку прогинів задається максимально допустимий відносний прогин балки, наприклад: $1/400$ або $1/250$. Та цього недостатньо для перевірки прогину. Річ у тім, що під час розрахунку ПК ЛПА-САПР вираховує не прогини, а лише переміщення. Переміщення є величиною абсолютною, бо переміщення – це відстань точки елемента деформованої під навантаженням конструкції від свого вихідного положення, а прогин – це відносна величина, бо є переміщенням центру балки відносно її кінців. Тобто, якщо на першому поверсі будинку переміщення і прогин майже однакові, то на 12 поверсі поздовжня деформація колон, на які спирається балка, буде давати переміщення приблизно того ж порядку, що й прогин центра балки щодо її кінців. На рис. 1.17 ясно видно, що величина прогину δ відчутно менша, ніж величина переміщення Δ .

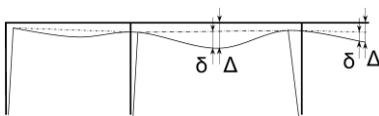


Рис. 1.17 Прогин балки δ та переміщення Δ

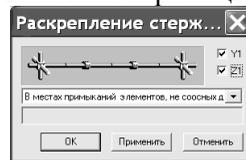


Рис. 1.18 Призначення елементам розкріплень для прогинів

Якщо не вказати програмі СТК-САПР, відносно яких точок балки розраховувати прогин, то СТК-САПР перевірятиме прогин балки не за прогинами, а за переміщеннями, а значить, перевірка прогину не виконуватиметься. Точки балки, відносно яких розраховується прогин, в СТК-САПР називаються *розкріплення для прогинів*. («Раскрепления для прогибов»). Необхідно задати розкріплення для прогинів балкам перед розрахунком.

ДБН В.1.2–2 2006 «Навантаження та впливи» вимагає розрахунок по прогинам виконувати згідно зі СНиП 2.01.07–85 «Навантаження і впливи». В СНиП розрахунок по прогинам відноситься до другої групи граничних станів, значить розраховувати прогин необхідно не за граничними, а за експлуатаційними значеннями навантаження. Навантаження в ПК ЛРА-САПР задаються для розрахунків на міцність, тобто всі навантаження задаються зі своїм граничним значенням. Тому при розрахунку можна зменшити прогин, якщо розрахувати його не від граничних, від експлуатаційних навантажень. Щоб не перебудовувати розрахункову схему і не перераховувати її з новими навантаженнями тільки для розрахунку прогинів, в СТК-САПР для цього використовуються коефіцієнти до навантажень. Прогини від навантажень діляться на ці коефіцієнти. Фактично, ці коефіцієнти є коефіцієнтами переходу від експлуатаційного до граничного значення навантаження.

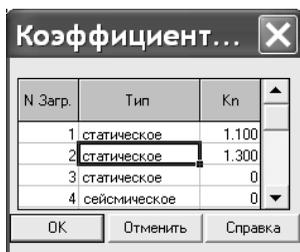


Рис. 1.19 Коефіцієнти до навантажень для розрахунку прогинів

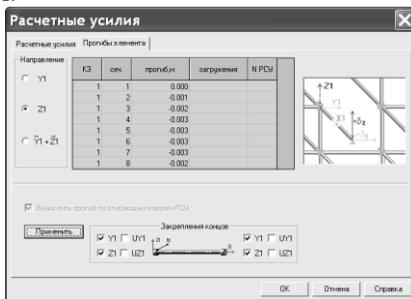


Рис. 1.20 Підрахунок прогину з епюри моментів

Динамічні і миттєві навантаження не враховуються під час обрання прогинів, а в таблиці позначені $K_n = 0$.

На завершення теми про розрахунок прогинів балок в СТК-САПР зробимо ще декілька зауважень. СТК-САПР розраховує прогин балки тільки в тих її точках, в яких розраховані зусилля. Ці точки в ПК ЛПРА-САПР називаються розрахунковими перерізами (в програмі – «расчетные сечения стержней»). При формуванні розрахункової схеми для статичного розрахунку в ПК ЛПРА-САПР кількість розрахункових перерізів завжди початково дорівнює двом, по одному на кожному кінці елемента. Але якщо розрахункових перерізів тільки два – на закріплених кінцях балки, то й прогин розрахований не буде. Тому для коректного розрахунку прогину перед статичним розрахунком балкам треба задати щонайменше 5 розрахункових перерізів. Цього можна досягнути або роздробивши балку на декілька скінчених елементів, або призначивши їй правильну кількість розрахункових перерізів, тобто 5 чи більше, спеціальною командою.

Якщо статичний розрахунок не проводився, тобто в локальному розрахунку (див. рис. 1.12), можна також розрахувати прогин, задавши умови опирання кінців балки. Прогин вираховується, використовуючи огинаючу епюру моментів (рис. 1.20). Оскільки реальні епюри моментів мають меншу наповненість ніж огинаюча, а також тому, що коефіцієнти до навантажень не використовуються, при розрахунку прогинів по епюрі моментів прогин буде, як правило, дещо завищеним в порівнянні з прогином по результатам статичного розрахунку, але різниця йтиме «в запас».

Розрахунок з врахуванням сейсмічних навантажень. Крім інших навантажень в ПК ЛПРА-САПР можуть задаватися сейсмічні навантаження. Як не дивно, при розрахунку на сейсмічні навантаження норми вводять коефіцієнт, який, як правило, збільшує гранично допустимі навантаження на елементи конструкції. Тобто міцність конструкції, яка працює на сейсмічне навантаження, вважається більшою! Не спиняючись на питанні, чому це так, просто запам'ятаємо, що при розрахунку елемента, в зусиллях якого є сейсмічне навантаження, СТК-САПР використовує додатковий коефіцієнт умов роботи m . Наприклад, перевірка елемента на міцність під дією осрової сили виглядатиме не так: $N/A \leq R_y \gamma_c$, а ось так: $N/A \leq R_y \gamma_c m$. Значення коефіцієнта m

фіксовані, і приведені в таблиці «Врахування сейсмічних впливів» (рис. 4.1.21).

Характеристика конструкций	Значения $m_{кр}$
При расчетах на прочность	
1. Стальные и деревянные	0.8
При расчетах на устойчивость	
7. Стальные с элементами гибкостью свыше 100	1
8. То же, гибкостью до 20	1.2
9. То же, гибкостью от 20 до 100	От 1.2 до 1 по интерполяции

Примечание. При расчете стальных и железобетонных конструкций, подлежащих эксплуатации в неотапливаемых помещениях или на открытом воздухе при расчетной температуре ниже -40°C , следует принимать $m_{кр} = 0.9$, в случае проверки прочности наклонных сечений $m_{кр} = 0.8$.

Рис. 1.21 Додатковий коефіцієнт умов роботи m

Ця таблиця посилається на таблицю 7 СНиП 2.7.81 «Сейсмічні впливи», але ДБН В.1.1–12:2006 «Будівництво у сейсмічних районах України» містить схожу таблицю 2.13, яка повторює значення коефіцієнтів m зі СНиП 2.7.81 для металевих конструкцій. Таким чином, як і було сказано на початку цього розділу, розрахунок з врахуванням даних ДБН В.1.1–12:2006 «Будівництво у сейсмічних районах України» не вимагає додаткового вводу даних.

1.6.2 Конструктивні і уніфіковані елементи

В попередньому розділі зазначалося, що для того, щоб вірно розрахувати в СТК-САПР прогин, необхідно задати розкріплення для прогину. Але що робити, якщо балка складається з кількох скінченних елементів, і виявляється, що центр балки не розкріплений? В таких випадках необхідно об'єднати скінченні елементи, які представляють балку в розрахунковій схемі. Для такого об'єднання призначені *конструктивні елементи*. Конструктивний елемент в СТК-САПР – це сполучення скінченних елементів однакового перерізу, які лежать на одній прямій і не мають розривів. При розрахунку конструктивний елемент розглядається як одне ціле.

Конструктивні елементи призначені в першу чергу для розрахунку прогинів балок. Конструктивні елементи можуть бути використані також для об'єднання скінченних елементів просто задля кращого сприйняття, адже легше думати про конструктивний

елемент на повну довжину балки або колони, аніж одночасно про кілька його частин, представлених скінченними елементами. Конструктивні елементи розраховуються в локальному режимі як один елемент. До речі, у вікні локального розрахунку на рис. 1.12 зображений саме конструктивний елемент.

Інша задача стоїть під час підбору перерізу. Якщо зусилля в кожному з елементів своє власне, то під час підбору для кожного елемента буде підібраний свій власний поперечний переріз. Надмірне число перерізів призводить до здорожчання будівництва, тому кількість перерізів обмежують. Отже, з кількох підібраних слід вибрати один переріз. Якщо переріз простий, то ми просто виберемо найбільший профіль, але що робити, якщо переріз зварний? Зварний двотавр під час підбору оптимізує свою форму під навантаження, і може виявитись, що підібрані перерізи різної форми мають однакову площу. Необхідно використовувати для підбору *всі* зусилля – тоді й форма перерізу буде оптимальною для всіх зусиль. Для об'єднання зусиль призначені *уніфіковані групи елементів*. Всі елементи однієї уніфікованої групи мають однакові зусилля, тому при підборі для всіх елементів уніфікованої групи підбирається один переріз.

Якщо в кожному скінченному елементі виникає 100 сполучень зусиль (наприклад, 10 сполучень навантажень розраховані в 10 точках по довжині елемента), і таких елементів 100, то підбір необхідно виконати 10 000 разів. Щоб обмежити кількість циклів підбору, СТК-САПР виконує його не на кожне сполучення зусиль кожного скінченного елемента, який включений до уніфікованої групи, а знаходить уніфіковані зусилля і вже на них виконується підбір. Уніфікація зусиль виконується за тим же принципом, що й визначення розрахункових сполучень зусиль (PCY, див. розділ 1.7.1 «Вихідні дані для розрахунку», підрозділ «Зусилля»), тобто проводиться пошук сполучень зусиль, при яких в перерізі по довжині елемента виникають екстремальні напруження і зусилля.

Уніфіковані зусилля однакові для всіх елементів уніфікованої групи, тому з 10 000 зусиль після уніфікації у нас залишиться всього 100. Уніфіковані групи можуть використовуватись тільки з розрахунковими сполученнями зусиль (PCY). Ні при розрахунку по зусиллям від завантажень, ні при розрахунку по розрахунковим сполученням навантажень (PCN), уніфіковані групи, на жаль, не

діють, і при підборі по зусиллям від завантажень та зусиллям від РСН не буде підібраний однаковий переріз для всіх елементів.

Для підбору конструктивні елементи теж можна об'єднувати в уніфіковані групи.

Отже, об'єднання в уніфіковані групи дає можливість при підборі отримати єдиний переріз для всіх елементів уніфікованої групи, а об'єднання в конструктивний елемент – правильно розрахувати прогин для балок, які складаються з більш ніж одного скінченного елемента. Тобто, створення конструктивних елементів і уніфікованих груп елементів потрібні не завжди.

1.6.3 Розрахунок елементів металевих конструкцій та аналіз результатів

В цьому розділі ми не будемо перераховувати всі формули, по яким СТК-САПР виконує розрахунок, а намагатимемось якнайповніше познайомити читача з можливостями цього розрахунку, тобто відповісти на запитання, чим СТК-САПР може допомогти інженеру–конструктору, а чим ні. Ми також не зачіпатимемо розрахунок вузлів металевих конструкцій, про які йтиметься в наступному розділі.

Розрахунок елемента конструкції в СТК-САПР полягає в перевірці або підборі його поперечного перерізу. Відповідно до ДБН В.1.2–2:2006 «Навантаження і впливи» розрахунок необхідно вести з урахуванням необхідних розрахункових ситуацій та граничних станів, а саме виконувати:

- а) перевірку *міцності*, стійкості та інших критеріїв несучої здатності;
- б) перевірку *жорсткості* та тріщиностійкості в режимі нормальної експлуатації;
- в) перевірку *витривалості* при повторних навантаженнях;
- г) урахування *повзучості* матеріалів та інших реологічних процесів при дії постійних і довготривалих навантажень.

Сталь не є повзучим матеріалом, і розрахунок на повзучість, як правило, не потрібен, тому СТК-САПР не виконує розрахунок на повзучість. Перевірка витривалості необхідна в конструкціях під безпосередньою дією динамічних навантажень, таких, як підкранові балки. СТК-САПР не розраховує підкранові балки і не робить розрахунок на витривалість. Виходить, що СТК-САПР

виконує тільки (а) перевірки на міцність і стійкість та (б) перевірки на жорсткість. До перевірок (а) відносяться перевірки міцності елемента, перевірки стійкості всього елемента та елементів його поперечного перерізу, наприклад, в двотаврі, перевірка стінок і полиць, а до перевірок (б) – перевірка максимально допустимого прогину балок та перевірка максимальної гнучкості λ елемента. Уважний читач пригадає, що максимальне відхилення колон від вертикалі також обмежене в просторі нормами. СТК-САПР може розрахувати прогин будь-якого елемента, в тому числі й відхилення, спеціальною командою, але не включає його в результати розрахунку. Це викликано тим, що на відміну від жорсткості балки, збільшивши яку, ми неодмінно зменшимо прогин, збільшення жорсткості колони нелінійно впливає на вертикальне відхилення. Щоб коректно розрахувати нове відхилення при новій жорсткості колони, необхідно призначити збільшену жорсткість колони і знову виконати статичний розрахунок. Крім того, збільшувати колони з умов жорсткості не вигідно, більш раціональним може бути постановка додаткових зв'язків між колонами у вертикальній площині. Тому СТК-САПР не включає вертикального відхилення до списку перевірок, які виконуються під час розрахунку і не збільшує переріз колони, якщо перевірка по вертикальному переміщенню не виконується під час підбору. Перевірки, які виконуються при розрахунку елементів конструкції в програмі СТК-САПР приведені в таблиці 1.2.

Як ми вже знаємо, в СТК-САПР результатом перевірки по будь-якій формулі СНиП 2.23.81* є *процент використання несучої спроможності* вигляду (1.1):

Таблиця 1.2

Перевірки в СТК-САПР

а)	міцність	так
	стійкість	так
	місцева стійкість	так
б)	прогин балки	так
	гнучкість колони і елемента ферми	так
	відхилення колони від вертикалі	ні
в)	витривалість від безпосередньої дії динамічних навантажень	ні
г)	повзучість	ні, немає потреби

$$\% = \frac{\sigma}{R} \cdot 100\% \quad (1.1)$$

де σ – дійсне значення параметра, який перевіряється, R – допустиме або граничне значення. Якщо процент використання більший за 100%, то відповідна вимога норм не дотримана. Наприклад, перевірка міцності розтягнутого елемента в СНиП записана як: $N/A \leq R_y \cdot \gamma_c$, тоді $\sigma = N/A$, $R = R_y \cdot \gamma_c$, а *процент використання несучої спроможності дорівнює*:

$$\% = \frac{\sigma}{R} \cdot 100\% = \frac{N/A}{R_y \cdot \gamma_c} \cdot 100\%$$

Елемент в залежності від напружено–деформованого стану розраховується по різним формулам. При ручному розрахунку елементів хід розрахунку підказують самі цифри. Наприклад, стійка з поперечним перерізом «труба», на яку діє стискаюча сила, закріплена в одному напрямі через 2 м, а в іншому через 5 м. Зразу видно, що найбільш небезпечним буде розрахунок в площині закріплення через 5 м. Але коли розрахунок ведеться на позацентровий стиск, і моменти, що діють різних площинах, різні, то в якій площині слід рахувати стійку – вже не так очевидно. СТК-САПР максимально формалізує всі перевірки, щоб можна було якнайпростіше визначити, по якій формулі елемент втрачає свою несучу спроможність. Іншими словами, якщо при ручному розрахунку хід розрахунку підказує, що слід зробити з елементом, якщо він не витримує прикладені навантаження, то в випадку автоматизованого розрахунку підказують про необхідні зміни саме результати. Тому в СТК-САПР виконується більше перевірок, ніж робив би інженер при ручному розрахунку. Так, розрахунок стійкості центрально–стисненої колони завжди виконується в двох площинах, які відповідають напрямку центральних головних осей поперечного перерізу, а не в одній. Аналогічно вираховуються не один, а два прогини балки – в площинах дії кожного зі згинальних моментів. Такий формальний підхід до формування результатів дає змогу об'єднати результати в таблиці однакового змісту. Пригадаємо, що СТК-САПР поділяє вхідні дані для розрахунку різних типів елемента: каната, ферми, колони, і балки. Так само й таблиці результатів для різних типів елементів будуть відрізнятися.

Елемент	НС	Група	Шаг ребер (планок)	Проценты исчерпания несущей способности колонны по сечениям, %											Длина элемента
				нор	УУ1	УЗ1	УУЗ	ГУ1	ГЗ1	УС	УП	1ПС	2ПС	М.У	
Сечение: 1. Двутавр 60Б2 Профиль: 60Б2; ГОСТ 26020 - 83 Сталь: С235; ГОСТ 27772-88															
Сортамент: Двутавр с параллельными гранями полка типа Б (балочный). Сокращенный сортамент															
64	1		0.00	18	20	60	0	20	101	54	17	60	101	54	7.15
64	2		0.00	18	19	59	0	20	101	54	17	59	101	54	7.15

Рис. 1.22 Приклад таблиці результатів

Розшифруємо скорочення, прийняті в таблицях результатів:

<i>нор</i>	перевірки міцності по нормальним напруженням
<i>тау</i>	перевірка міцності по дотичним напруженням
<i>с1</i>	перевірка міцності $\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1,15 \cdot R_y \cdot \gamma_c$
<i>УУ1, УЗ1, УУЗ</i>	перевірки стійкості відносно головних осей та від дії моменту в двох площинах
<i>УБ</i>	перевірка стійкості балки
<i>ГУ1, ГЗ1</i>	перевірки гнучкості відносно головних осей
<i>Прг</i>	перевірка прогину
<i>УС, УП</i>	перевірки місцевої стійкості стінки й полиці перерізу
<i>1ПС</i>	найбільше з чисел <i>нор, тау, с1, УУ1, УЗ1, УУЗ</i>
<i>2ПС</i>	найбільше з чисел <i>ГУ1, ГЗ1, Прг</i>
<i>М.У</i>	найбільше з чисел <i>УП, УС</i>

В таблиці результатів розрахунку для колон немає спеціальних граф для процентів використання несучої спроможності по дотичним *тау* та по приведеним напруженням *с1*, тому іноді виявляється, що число в графі *1ПС* більше за найбільше число в графах *нор, УУ1, УЗ1, УУЗ*. Число в графі *1ПС* показує роботу елемента по першій групі граничних станів, *2ПС* – по другій групі, а число *М.У* характеризує тонкостінність його поперечного перерізу. Додаток 1 перелічує формули, по яким обраховується той або інший *процент використання несучої спроможності*.

В такому уніфікованому підході до формування результатів є й деякі недоліки. Звернімо увагу на послідовність рядків: кожен рядок представляє результати в деякій точці по довжині елемента. Графа НС, «номер сечення» – номер точки по довжині елемента. Отже, результати видаються в кожній точці елемента, де вираховані зусилля. На жаль, це не завжди потрібно. Наприклад, п. 5.29 СНиП 2.23.81* дозволяє в деяких випадках не перевіряти на

стійкість колони в точках на відстані менше $1/3$ довжини від кінців, а СТК-САПР їх перевіряє. Аналогічно, при розрахунку балки СТК-САПР перевіряє на загальну стійкість балки в точках на опорах. Тому, якщо уважно поставитись до результатів, можна відкинути деякі з них і зекономити кілька тон сталі.

Крім перерахованих граф, в таблиці є графи

<i>Елемент</i>	Номер скінченного елемента
<i>НС</i>	Номер точки по довжині елемента
<i>Група</i>	Уніфікована група чи конструктивний елемент (розд. 1.7.2)

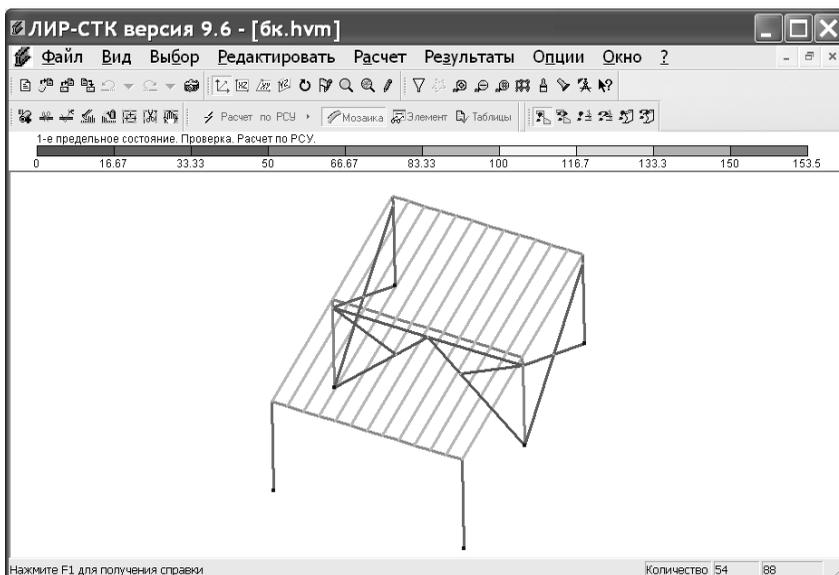


Рис. 1.23 Мозаїка результатів

Крім табличних результатів, СТК-САПР може зобразити максимальні значення $НПС$, $2ПС$ та $M.U$ на схемі у вигляді мозаїки (див. рис. 1.23, 1.24) та позначити підібрані перерізи на схемі. Скінченно-елементна схема СТК-САПР може бути відкрита програмою КМ-САПР, про що йтиметься в розділі 1.9.

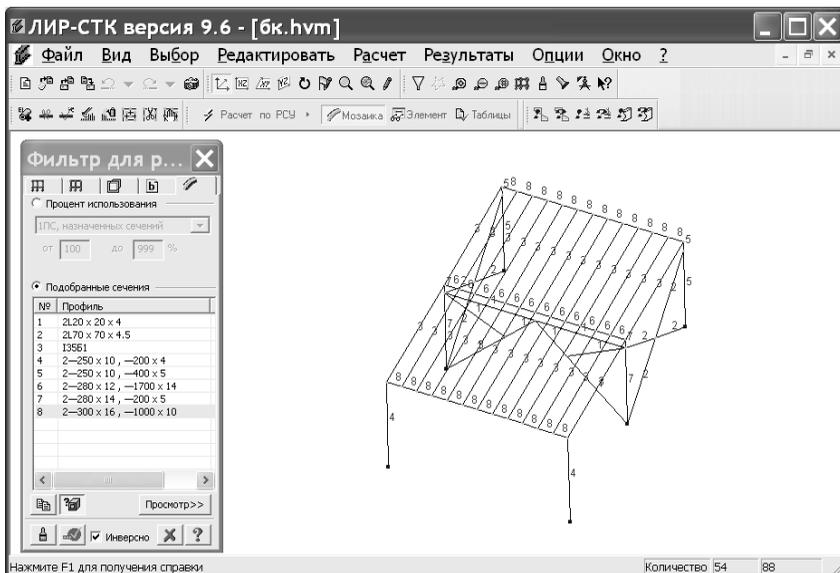


Рис. 1.24 Підібрані перерізи

1.7. Основи автоматизованого розрахунку вузлів конструкцій

Розрахунок вузлів є найцікавішим розділом проектування металоконструкцій. Сучасні досліді свідчать про те, що вузол працює зовсім не так, як ми його розраховуємо, тому практикуючі інженери намагаються уникати проектування нових типів вузлів. Але статистика підтверджує, що на долю вузлів припадає набагато менше аварій металоконструкцій, ніж на елементи, які вони з'єднують. Значить, розрахунок вузлів інженерними методами дає чудові результати і має достатню надійність. Звісно, в програмному комплексі можна запроєктувати і розрахувати будь-який вузол чисельними методами! Але на створення кожної такої моделі треба витратити чимало часу, а потім – довести, що створена скінченно-елементна модель достовірна, для чого непогано було б порівняти дані розрахунку з експериментальними даними. На такі дослідження у практикуючого інженера зазвичай немає ні часу, ні грошей, тож він користується готовими рішеннями.

Програма СТК-САПР, розраховує вузли, поведінка яких передбачувана, тобто вже добре перевірені на практиці, швидкими

і надійними інженерними методами. Розрахунок вузлів проводиться тільки за вітчизняними нормами СНиП 2.23.81*. Як вже було сказано в розділі 1.6.2 «Типи перерізів та вузлів», СТК-САПР дозволяє розрахувати більше чотирьох десятків вузлів, або «простих вузлів», з яких можна скомпонувати комбінації, тобто утворити «складні вузли». Далі в цьому розділі йтиметься тільки про «прості» вузли.

1.7.1 Вихідні дані для розрахунку вузлів

Вихідними даними для розрахунку вузлів є тип вузла, поперечні перерізи елементів, які з'єднуються в вузлі, зусилля в елементах, а також зварювальні матеріали і болти.

Можливі два варіанти розрахунку вузла. Першим варіантом розрахунку є розрахунок «з нуля», тобто коли всі вихідні дані від початку до кінця вводяться вручну. Другим варіантом є розрахунок, коли розрахункові перерізи і зусилля в з'єднаних елементах копіюються з розрахункової схеми СТК-САПР (рис.1.25). Якщо створюється розрахунок вузла схеми СТК-САПР, то поперечні перерізи з'єднаних елементах можуть бути або призначені, або підібрані. Поперечні перерізи елементів, що з'єднуються в вузлі, мусять бути достатньої міцності, щоб витримувати зусилля, яке в них виникає, інакше підібрати з'єднувальні елементи у вузлі програмі не вдасться. Тому, якщо розрахунок СТК-САПР проводився за попередньо призначеними перерізами, необхідно або перед розрахунком вузла призначити елементам схеми СТК-САПР підібрані перерізи, або використовувати для розрахунку вузла підібрані раніше перерізи (рис.1.26).

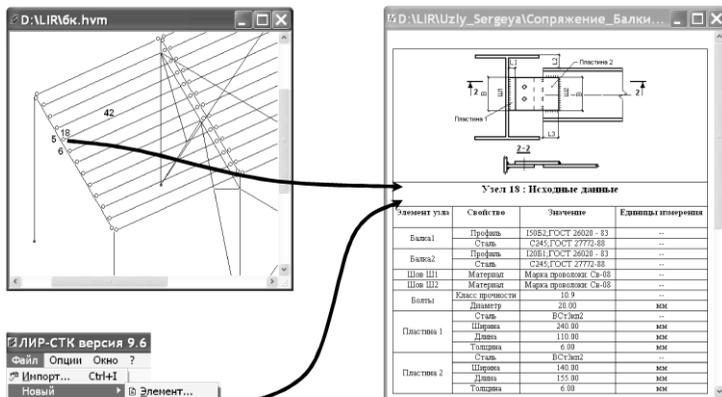


Рис.1.25 Розрахунок вузла схеми СТК-САПР та автономний розрахунок вузла

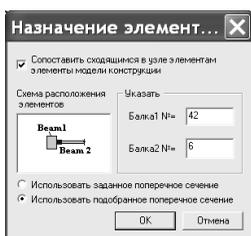


Рис.1.26 Вибір поперечного перерізу для розрахунку вузла

В вихідних даних для розрахунку не обов'язково відразу задавати розміри всіх додаткових елементів вузла. Для першого кроку цілком досить задати поперечні перерізи з'єднаних елементів і зусилля в них. По цим даним СТК-САПР вже при створенні задачі виконає підбір додаткових елементів вузла. Далі розмірами та характеристиками додаткових елементів вузла можна варіювати, перевіряючи ті або інші розміри чи матеріали додаткових елементів, щоб в решті-решт отримати найбільш бажану конструкцію вузла.

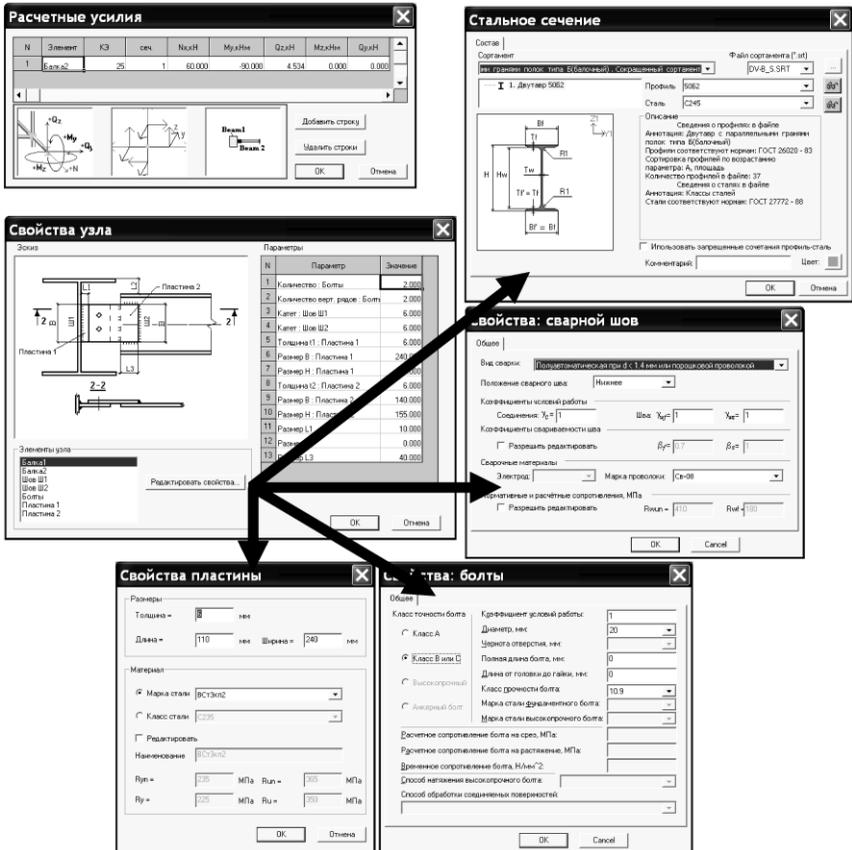


Рис. 1.27 Вихідні дані для розрахунку вузла

Вихідними даними для розрахунку вузлів є поперечний переріз елементів, що з'єднуються у вузлі, зусилля в них і різні характеристики вузла, такі як товщина пластин, кількість болтів, коефіцієнт умов роботи тощо. Частина з цих параметрів не змінюється під час підбору вузла, а частина – змінюється. Щоб розділити ці дві групи характеристик вузла, перші називаються *властивості* вузла, а другі *параметри* вузла. Параметри є змінними величинами. Підбір завжди підбирає параметри вузла, замінюючи ті, що були в вихідних даних, і залишаючи незмінними решту характеристик. Перелік параметрів, тобто змінних величин,

в кожного типу вузла свій, параметри виводяться у в таблиці «Параметри» вікна «Свойства узла».

Вихідні дані для розрахунку вузла показані на рис. 4.1.27. Як видно, параметри, що підбираються під час підбору вузла, також можна змінювати з діалогу «Свойства узла». Тоді слід виконувати тільки перевірку, бо підбір заново заповнить всю таблицю під назвою «Параметры».

1.7.2 Розрахунок вузлів та аналіз результатів

Розрахунок вузла металоконструкції складається з двох частин: 1) перевірки елементів, що з'єднуються в вузлі з врахуванням ослаблених перерізів та 2) підбору чи перевірки з'єднуючих елементів вузла, тобто зварних швів, болтів і накладок. Елементи, що з'єднуються в вузлі, та зусилля, що виникає в цих елементах, є вихідними даними для підбору з'єднуючих, або *додаткових*, елементів вузла. З такого порядку розрахунків випливає, що додаткові елементи вузла неможливо підібрати, якщо з'єднувані елементи не витримують зусиль, що в них виникають. Тобто, *якщо балка замала, щоб витримати своє навантаження, то й вузол такої балки підібрати не вдасться.*

Результатом перевірки та підбору вузла є таблиця результатів, в якій крім значень параметрів приводяться проценти використання несучої спроможності елементів вузла. Нагадаємо, що процентом використання несучої спроможності називається величина

$$\% = \frac{\sigma}{R} \cdot 100\%$$

де σ – дійсне значення параметра, який перевіряється, R – опір елемента, тобто допустиме або граничне значення (рис. 1.28).

Але по якій формулі був знайдений той чи інший процент використання несучої спроможності? Якщо для елементів конструкції формули досить прозорі, то для елементів вузла передбачити, по якій формулі був обрахований процент, неможливо. Щоб пояснити хід розрахунку СТК-САПР надає інструмент трасування. Трасування – це докладний розгорнутий розрахунок, який демонструє, по яким формулам та з яких чисел отримано результат. Трасування можна отримати для кожного процента використання несучої спроможності в таблиці результатів або для всіх процентів одночасно (рис. 1.29).

Трасування розрахунку вузлів – надзвичайно корисний інструмент. По–перше, він дає можливість визначити, яка саме перевірка для цього елемента вузла була найбільш критичною. А це в свою чергу дає можливість оцінити, які саме вихідні дані слід змінювати, щоб розрахунок був більш прийнятним. Наприклад, судячи з трасування, можна визначити, чи підвищувати опір сталі, чи клас болтів, чи взагалі відмовитись від прийнятої конструкції вузла. По–друге, поперемінно змінюючи вихідні дані та переглядаючи результати можна навчитись «відчувати» роботу вузла: можна вивчити, як вузол «реагує» на зміну навантаження, товщини додаткових елементів і т.д. Трасування розрахунку в залежності від складності вузла займає від кількох десятків до кількох сотень сторінок, і може бути відмінним підручником при вивченні роботи вузла.

Трасування являє собою звичайний текстовий файл, який можна відредагувати, додати до пояснювальної записки, відіслати на електронну адресу тощо. Щоб полегшити перегляд, трасування має гіпертекстові переходи. Нехай в трасуванні, нам зустрілася змінна під назвою τ_f – напруження. Просто клацнемо на ній – і перейдемо до місця, де вона визначена, наприклад, на таку формулу:

$$\tau_f = (\tau_{Qz}^2 + (|\sigma_{My}| + |\tau_N|)^2)^{0.5}$$

$$\tau_f = (2.34684^2 + (|1.83666| + |31.0559|)^2)^{0.5} = 32.9762 \text{ МПа}$$

З’явилося три нові змінні: τ_{Qz} , σ_{My} та τ_N . Тепер можна клацнути мишею на будь–якій з них, щоб перейти до місця в трасуванні, де визначені вони і т.д. До речі, СТК-САПР, мабуть, єдина програма, яка виконує подібне трасування.

Всі формули, які використовувались в розрахунку вузла, виводяться в трасуванні, не залишаючи жодних таємниць в розрахунку вузла. Але й тут прискіпливий погляд може помітити вади. По–перше, СТК-САПР виконує розрахунок вузла лише на такі зусилля, які позначає в результатах зірочкою: «*». Якщо в вузлі є інші зусилля, СТК-САПР їх ігнорує при розрахунку. Тобто, якщо в результатах розрахунку з’явилися ненульові зусилля без зірочки, то до такого розрахунку слід ставитися вкрай обережно: або змінювати розрахункову схему, щоб зусиль без зірочки в вузлі не виникало, або змінювати тип вузла на такий, що може сприйняти таке зусилля. Крім того, СТК-САПР з об’єктивних

причин не виконує деяких перевірок, про що свідчить їхня відсутність у результатах.

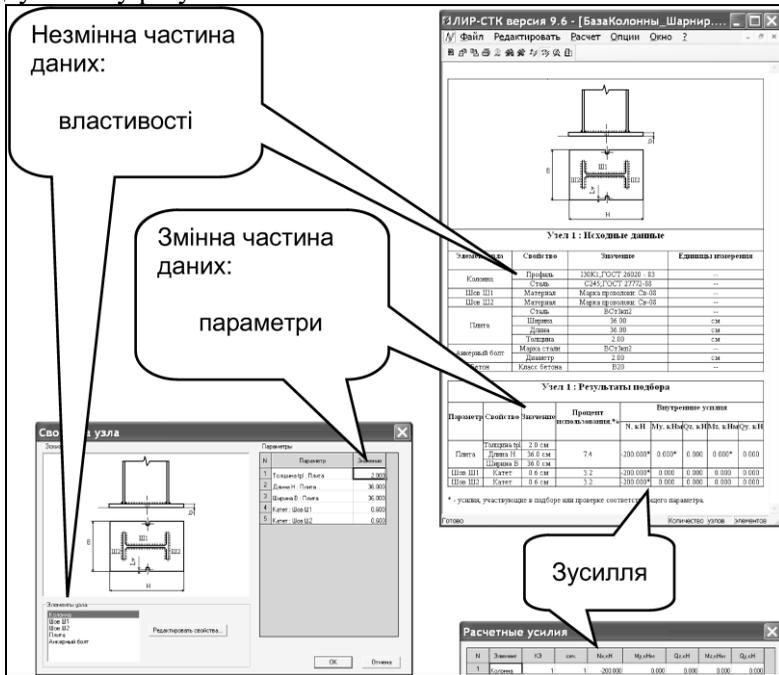


Рис. 1.28 Команда «Підбір» підбирає нові параметри вузла

Наприклад, СТК-САПР не перевіряє стінку колони у вузлі примикання балки на додаткове дотичне напруження. Стінка колони в місці примикання балки може втратити стійкість чи навіть зрізатись: необхідно виконати додатковий розрахунок вручну. І хоча таких прогалин в розрахунку вузлів зовсім не багато, все ж вони здатні розвіяти зайву ейфорію: розрахунок вузлів СТК-САПР є не більше, ніж автоматизованим інструментом, який вмie робити тільки те, що в нього закладено, і який в неуважних руках не даватиме користі.

Виконати якісну оцінку розрахунку вузла можна, відкривши щойно розрахований вузол у підсистемі КМ-САПР. КМ-САПР побудує тривимірну модель вузла і необхідні види та розрізи вузла. Правильно сконструйований вузол має на проєкціях виглядати пропорційно і завершено.

Проверка : Шов III

N_x^* , кН	M_y , кНм	Q_z , кН	M_z , кНм	Q_y , кН
-200	0	0	0	0

KIw - процент использования шва:

Поскольку условие $(\beta_f \cdot k_f < \beta_z \cdot k_f)$ - удовлетворяется, то

$$KI_w = |N_x| \cdot 10^3 / (\beta_f \cdot k_f \cdot (2 \cdot H_w) + k_f \cdot (2 \cdot (b_f + b_f - t_w - 2 \cdot R))) \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c \cdot \gamma_n \cdot 100$$

то есть *условие (0.7 < 1.6) - удовлетворяется, то*

$$KI_w = |40| \cdot 10^3 / (0.7 \cdot (6 \cdot (2 \cdot 269) + 6 \cdot (2 \cdot (300 + 300 - 9 - 2 \cdot 18)))) \cdot 180 \cdot 1 \cdot 1 / 1 \cdot 100 = 3.21056 \%$$

Здесь:

$N_x = 40$ кН - продольное усилие в соответствующей системе координат

$\beta_f = 0.7$ Таблица 34* - коэффициент, учитывающий технологию сварки

$k_f = 6$ мм - катет сварного шва

$H_w = 269$ мм - высота стенки

$k_f = 6$ мм - катет сварного шва

$b_f = 300$ мм - ширина полки

$b_f = 300$ мм - ширина полки

$t_w = 9$ мм - толщина стенки

$R = 18$ мм - радиус закругления

$R_{wf} = 180$ МПа - расчетное сопротивление угловых швов срезу (условному) по металлу шва

$\gamma_{wf} = 1$ - коэффициент условий работы шва

$\gamma_c = 1$ - коэффициент условий работы

$\gamma_n = 1$ - коэффициент надежности по назначению

$\beta_z = 1$ Таблица 34* - коэффициент, учитывающий технологию сварки

N_x - продольное усилие в соответствующей системе координат:

$$N_x = |(0.2 \cdot N_x)|$$

$$N_x = |(0.2 \cdot -200)| = 40 \text{ кН}$$

Здесь:

$N_x = -200$ кН - продольное усилие в соответствующей системе координат

Рис. 1.29 Трасування процента використання несучої спроможності зварного шва

1.8. Деякі аспекти про зміни користувальницького інтерфейсу ПК ЛІРА-САПР

Навчальний посібник, що пропонується, надає методологію виконання базових курсових проектів з металевих конструкцій з використанням комп'ютерних технологій. Автори сподіваються, що зміни користувальницького інтерфейсу ПК ЛІРА-САПР не завадять практичній цінності цього навчального посібника. Але оскільки студенти будуть зіткнутися з новим інтерфейсом ПК ЛІРА-САПР, в цьому розділі коротко зупинимось на його особливостях. Основні зміни полягають у тому, що функціональність програм АРМ-САПР і СТК-САПР щодо роботи з розрахунковою схемою повністю перенесена у ВІЗОР-САПР – інтегроване середовище підготовки вихідних даних та аналізу розрахункових схем.

Отже, потреби в програмі АРМ-САПР, яка здійснює підбір арматури для розрахункової схеми, вже немає, а в програмі СТК-САПР, що розраховувала сталеві перерізи й вузли, зберігся тільки локальний режим розрахунку одного елемента або вузла. Замість окремих програм АРМ-САПР і СТК-САПР у ВІЗОР-САПР з'явилися нові режими роботи: режим «залізобетонні конструкції» й режим «сталеві конструкції». Ці режими усувають необхідний раніше етап імпорту розрахункової схеми в АРМ-САПР та СТК-САПР. Якщо раніше вихідні дані для розрахунку залізобетонних і сталевих конструкцій можна було ставити тільки після імпорту розрахункової схеми в АРМ-САПР і СТК-САПР (рис. 1.30) і навіть часто ці дані потрібно було ставити заново у разі змін у геометрії розрахункової схеми, то тепер вихідні дані для розрахунку сталевих і залізобетонних конструкцій є іманентною частиною розрахункової схеми, так само як дані про жорсткість елементів. Вихідні дані для розрахунку сталевих і залізобетонних конструкцій можуть тепер задаватися як у режимах «залізобетонні конструкції» і «сталеві конструкції», так і в режимі підготовки вихідних даних і аналізу розрахункових схем включає функціональність з підбору арматури і перевірки сталевих перерізів.

Логічним продовженням ідеї злиття даних є злиття розрахунків. Якщо раніше в кожній системі треба було запустити розрахунок і

дочекатися його завершення, то зараз статичний і динамічний розрахунок схеми, а за ним і розрахунок варіантів конструювання можна виконати одним натисканням кнопки. Спочатку виконуються статичний і динамічний розрахунки, а потім послідовно, один за одним виконуватимуться розрахунки варіантів конструювання.

Так, можна аналізувати практично одночасно як результати статичного й динамічного розрахунку, так і результати армування або перевірки/підбору сталевих перерізів. Перед запуском такого наскрізного розрахунку здійснюється діагностика вихідних даних усіх варіантів конструювання, тому автоматично діагностуються всі помилки. Найкориснішим наскрізний розрахунок є в ситуації, коли вихідні дані вже були задані і через зміни розрахункової схеми або навантажень просто потрібно все перерахувати.

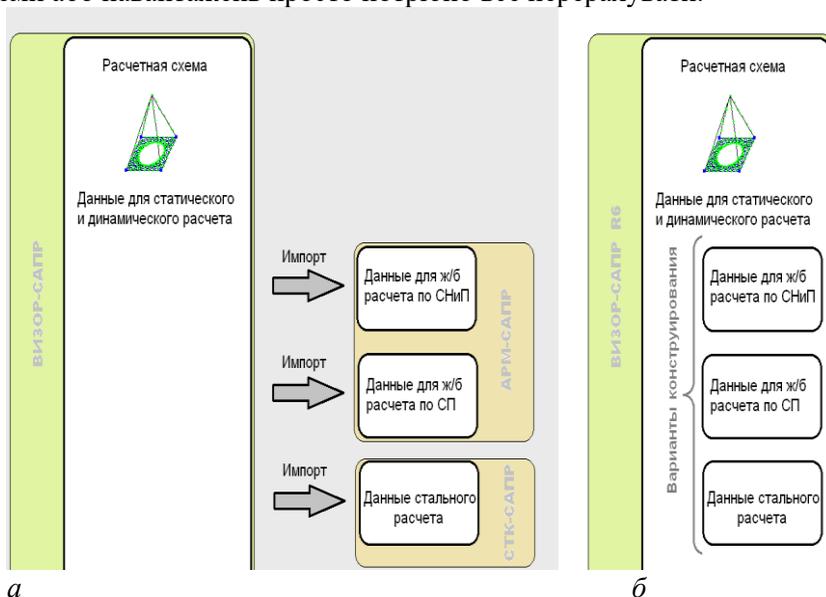


Рис. 1.30 Передавання даних для розрахунків залізобетонних і металевих конструкцій: а – у попередній версії; б – після злиття ВІЗОР-САПР з АРМ-САПР і СТК-САПР

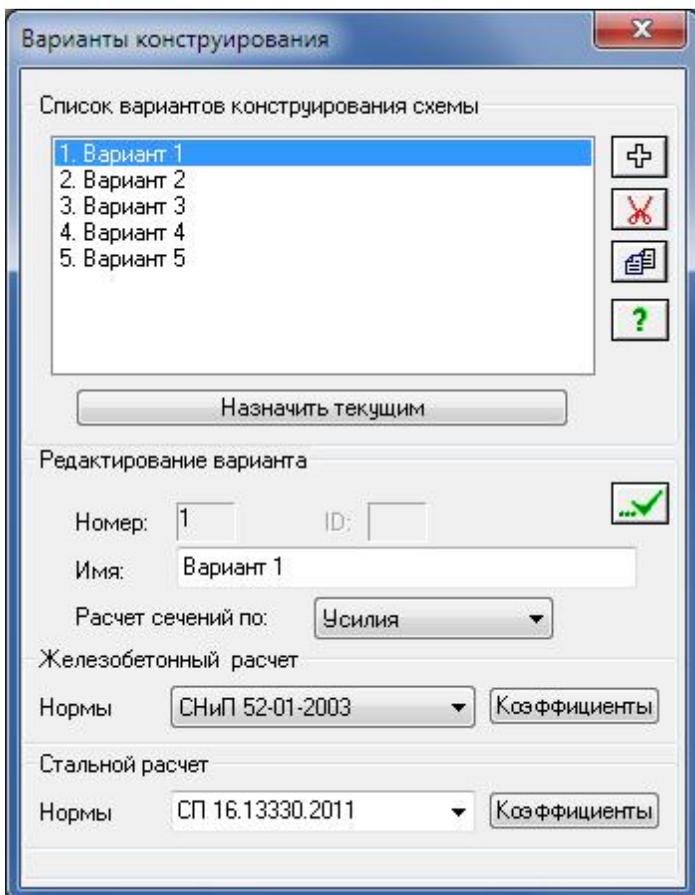
Варіанти конструювання

Кожна задача може мати будь-яку кількість варіантів конструювання. Основним способом створення варіанта

конструювання є його створення в спеціалізованому діалоговому вікні **Варианти конструирования**, рис. 1.31, а. Варіант конструювання містить такі дані:

- норми залізобетонного розрахунку;
- норми сталевих розрахунку;
- за якими видами зусиль потрібно виконувати розрахунок: за розрахунковими сполученнями зусиль (**PCY**), за розрахунковими сполученнями навантажень (**PCN**), за зусиллями від завантажень;
- матеріали елементів: сталь, бетон, арматура;
- дані, потрібні для підбору арматури й сталевих розрахунку: розрахункові довжини, захисні шари, ширина розкриття тріщин, граничні гнучкості й прогини, різноманітні прапори й коефіцієнти
- конструктивні елементи;
- уніфікація елементів;
- уніфікація конструктивних елементів;
- умовні закріплення, призначені для розрахунку прогинів сталевих балок.

Зображене на рис. 1.31, б діалогове вікно, призначене для копіювання даних з одного варіанта конструювання в інший, може бути хорошим нагадуванням про те, які саме дані входять до варіанта конструювання.



a

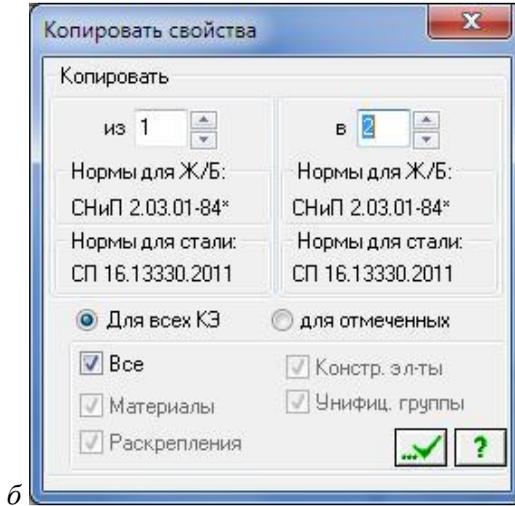
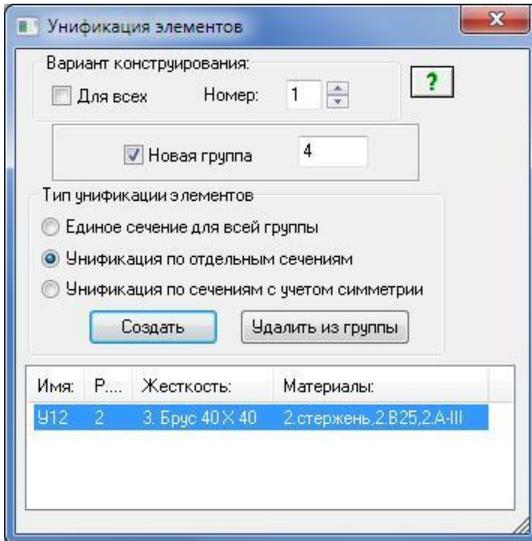
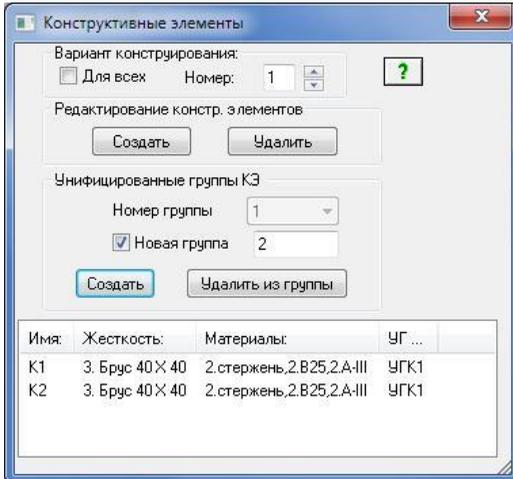


Рис. 1.31. Створення й редагування варіантів конструювання:
 а) діалогове вікно, яке містить варіанти конструювання;
 б) діалогове вікно призначене для копіювання даних між варіантами конструювання

Як видно з рис. 1.31, а, у варіанті конструювання можна задати норми як для сталевих, так і для залізобетонного розрахунку. Тобто при розрахунку кожного варіанта здійснюватиметься як підбір арматури, так і перевірка/підбір сталевих перерізів за заданими нормами. І залізобетон, і метал розраховуватимуться за зусиллям, заданим у полі **Расчет сечений – за РСУ** (розрахунковим сполученням зусиль), РСН (розрахунковим сполученням навантажень) або зусиллям (зусиллям від завантажень). Якщо кінцеві елементи-стрижні в цьому варіанті конструювання об'єднані в конструктивні елементи, то розрахунок виконуватиметься з урахуванням конструктивних елементів (рис. 1.32, б). Якщо ж розрахунок здійснюється за розрахунковими сполученнями зусиль (РСУ) то враховуватиметься також і задана в цьому варіанті конструювання уніфікація зусиль між скінченними елементами (рис. 1.32, а) або між конструктивними елементами (рис. 1.32, б).



а

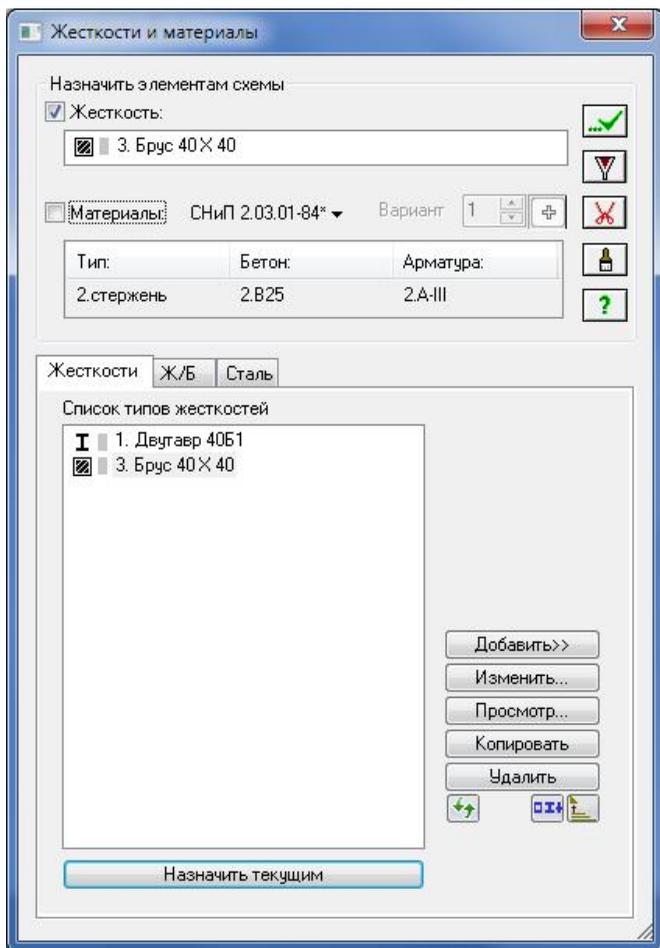


б

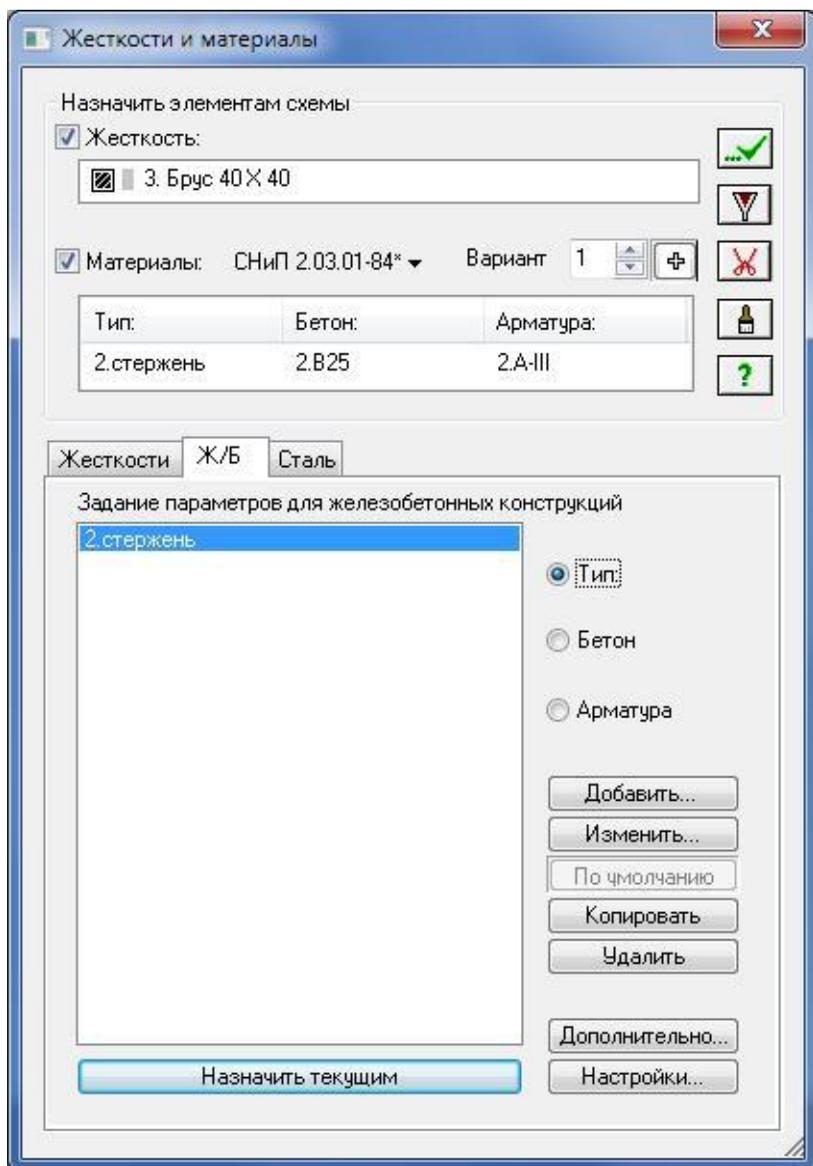
Рис. 1.32. Уніфікація та конструктивні елементи:
 а) уніфікація зусиль між скінченними елементами
 б) уніфікація між конструктивними елементами.

Уніфікація розрахункових сполучень зусиль будь-яких типів скінченних елементів може різнитися в різних варіантах конструювання або ж взагалі не входить в деякі варіанти.

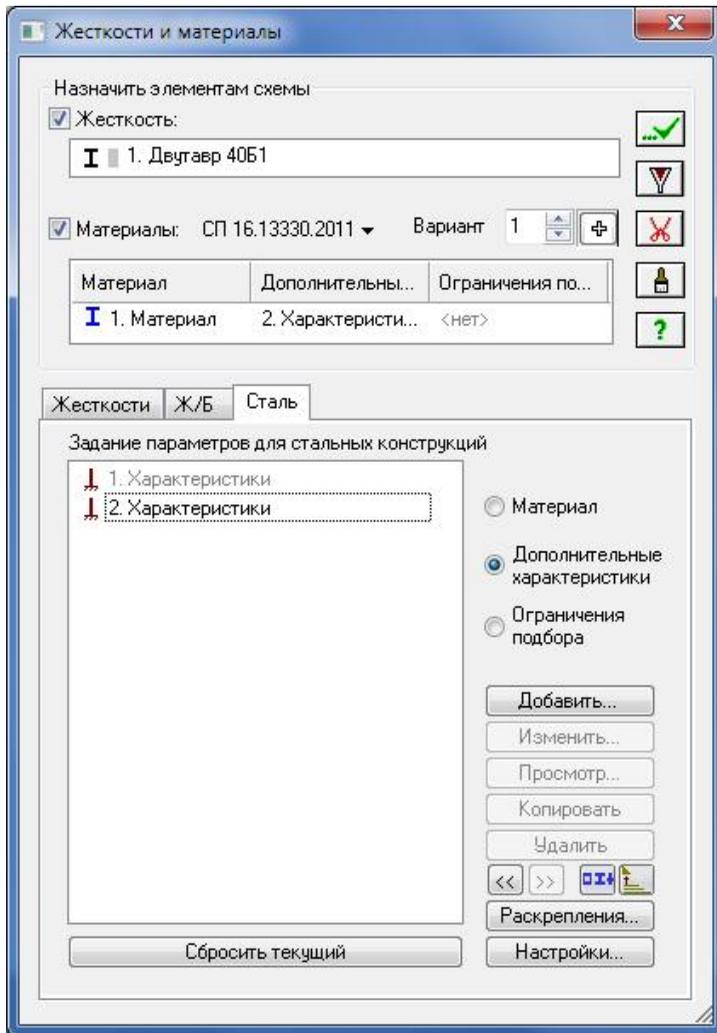
Діалогове вікно **Жесткости и материалы** (рис. 1.33, а, б, в) дає можливість призначити елементам жорсткість і матеріали, відповідно, для розрахунку сталевих і залізобетонних конструкцій.



а



6



в

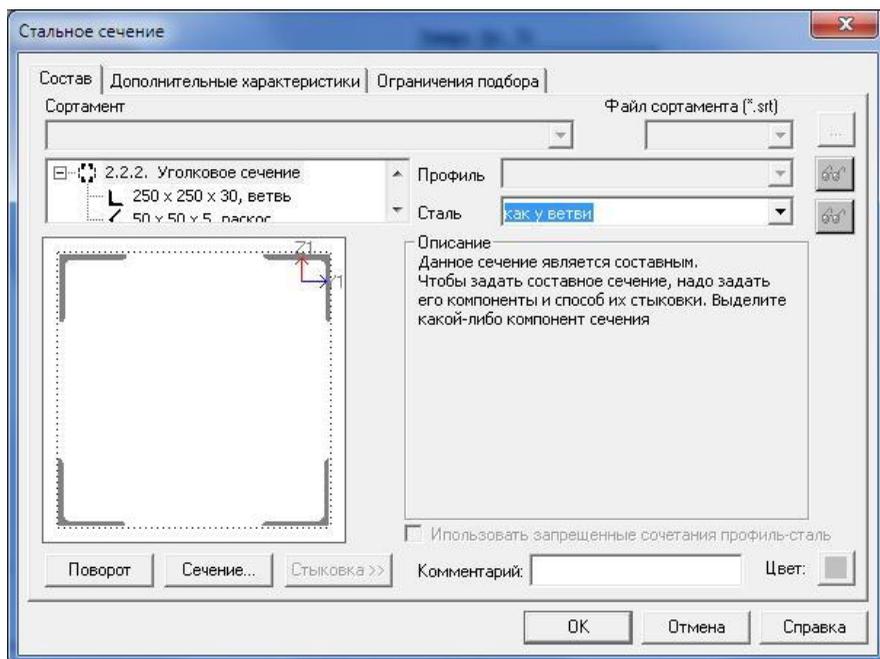
Рис. 1.33. Матеріали конструювання: *a* – завдання типів жорсткості; *б* – завдання параметрів для залізобетонних конструкцій;

в – завдання параметрів для сталевих конструкцій.

Призначення матеріалів елементам необхідно тільки в тому разі, якщо треба виконати підбір арматури або розрахунок перерізів

сталевих елементів. (Якщо проводитиметься тільки статичний/динамічний розрахунок, то матеріали задавати не потрібно.) Для підбору арматури елемента треба призначити тип, бетон і арматуру (див. рис. 1.33, б).

Для розрахунку перерізів сталевих елементів елементу слід призначити матеріал, додаткові характеристики і, за необхідності, обмеження підбору. У СТК-САПР кожному поперечному перерізу призначалася сталь, розрахункові довжини та обмеження підбору й уже цей поперечний переріз з додатковими атрибутами призначався елементу. Якщо частина елементів одного й того ж поперечного перерізу мала іншу розрахункову довжину, то, аби змінити її, доводилося дублювати поперечний переріз, змінювати в ньому розрахункову довжину й призначати елементам такий змінений поперечний переріз (рис. 1.34, а, б, в).

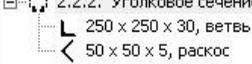


а

Стальное сечение

Состав | **Дополнительные характеристики** | Ограничения подбора

Состав сечения

2.2.2. Угловое сечение

 250 x 250 x 30, ветвь
 50 x 50 x 5, раскос

Кoeffициенты условий работы

по устойчивости	по прочности	Кoeffициент надежности
1	1	1

Соединительная решетка

 Угловое сечение

Шаг решетки 1 м

Предельная гибкость ветвей и стержня на сжатие: Основная колонна
 Неосновная колонна
 Прочая 180-60a

на растяжение: 300

Тип элемента
 Ферменный Колонна Балка
 Действие осевой силы с изгибом

Расчетные длины

стержня	
относительно оси Z1	относительно оси Y1
1 м	1 м

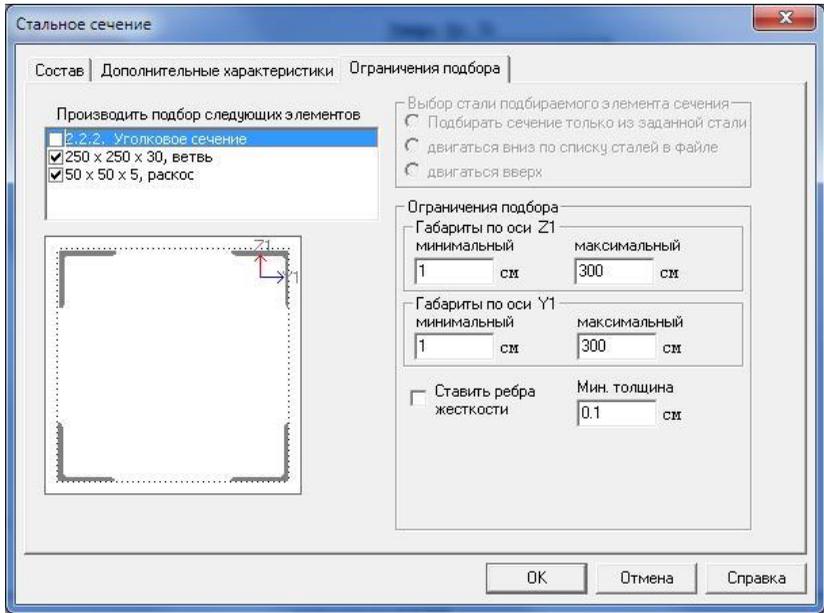
ветвей

Нижней	Верхней
0 м	0 м

использовать коэффиценты к длине конструктивного элемента

OK Отмена Справка

б



в

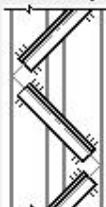
Рис. 1.34. Завдання матеріалів для сталевих розрахунку в СТК-САПР: *a* – завдання профілю сталі; *б* – завдання додаткових характеристик; *в* – завдання обмежень підбору

У новій версії ПК ЛІРА-САПР параметри матеріалів (рис. 1.35, *a*), додаткових характеристик (рис. 1.35, *б*) і обмежень підбору (рис. 1.35, *в*) призначаються елементам незалежно. У такий спосіб досягається однакова техніка призначення матеріалів і для залізобетонних, і для сталевих елементів.

Параметры

Номер	2
Комментарий	Материал
Сечение	
Сталь	как у ветви
Тип решетки	Раскосная
Ветвь	
Сталь	09Г2
Сокращенный сортамент	Да
Раскос соединительной решетки	
Тип профиля	Равнополочный уголок
Сортамент	Уголок равнополочн...
Профиль	50 x 50 x 5
Сталь	ВСт3кп2
Сокращенный сортамент	Нет

Тип решетки



Тип соединительной решетки сквозного сечения.
Раскосная решетка

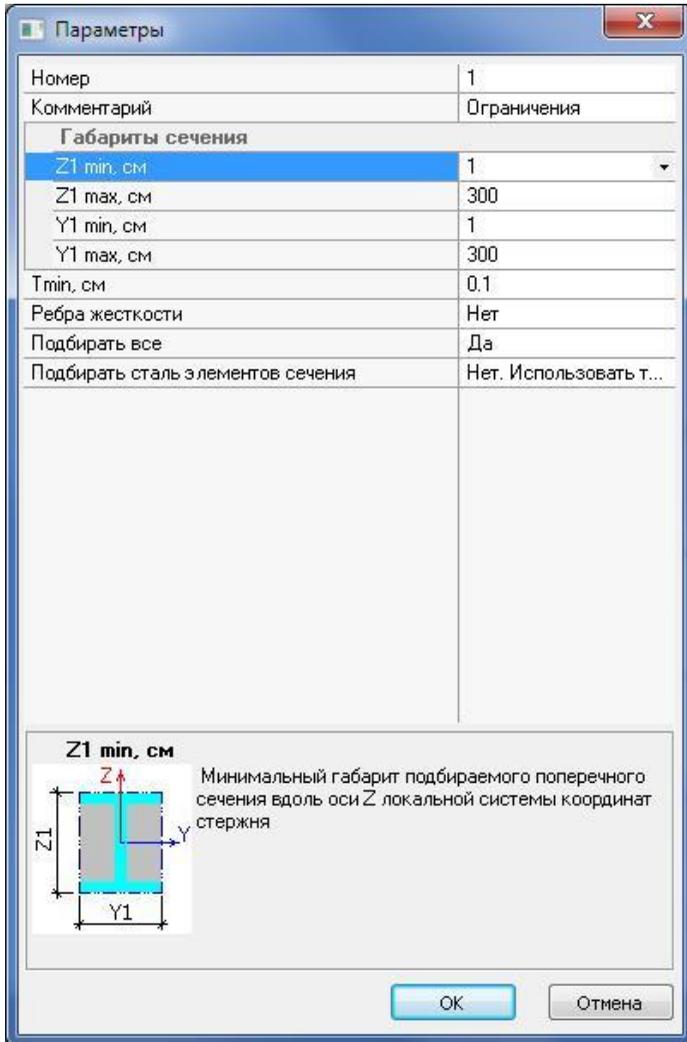
OK Отмена

a

Параметры

Нормы проектирования	СНиП II-23-81*
Номер	2
Комментарий	Характеристики
Тип элемента	
Ферменный	<input type="radio"/>
Колонна	<input checked="" type="radio"/>
Балка	<input type="radio"/>
Коэффициенты условий работы и надежности	
γ_c устойчивости стержня	1
γ_c прочности стержня	1
γ_c устойчивости ветви	1
γ_c прочности ветви	1
γ_c устойчивости решетки	0.75
γ_c прочности решетки	0.75
γ_n	1
Шаг решетки, м	0
Предельная гибкость	
основная колонна	<input checked="" type="radio"/>
неосновная колонна	<input type="radio"/>
прочая	<input type="radio"/>
На сжатие	180-60 α
На растяжение	300
Расчетные длины	
K_z	1
K_y	1
K ветви	1
использовать коэффициенты длины	<input checked="" type="checkbox"/>
<p>использовать коэффициенты длины</p> <p>Выбор способа задания расчетных длин. Если этот флажок сброшен, то задаются абсолютные значения расчетных длин. Если этот флажок установлен, то задаются коэффициенты K к геометрической длине l_0.</p>	
<p>OK Отмена</p>	

б



6

Рис. 1.35. Завдання матеріалів для сталевих розрахунків:
a – матеріал поперечного перерізу; *b* – додаткові характеристики;
c – обмеження підбору

У процедурі створення й призначення елементів сталевих матеріалів є своя особливість, а саме: створити новий матеріал можна або для виділених елементів, або для призначуваної разом із

матеріалом жорсткості. Якщо виділених елементів немає і сталеву жорсткість не призначається (тобто прапорець **Жесткость** на рис. 1.33, *a* знятий), то новий матеріал або додаткові характеристики створити не можна. Таке обмеження дає можливість скоротити до мінімуму можливі помилки при створенні і призначенні елементам матеріалів і додаткових характеристик для розрахунку сталевих конструкцій.

Завдяки виведенню значень у форматі «ім'я» – «параметр» стало можливим редагування параметрів одразу кількох сталевих матеріалів, а також копіювати матеріали за допомогою комбінації клавіш Ctrl + C та Ctrl + V в інші завдання.

Жорсткість, тобто поперечний переріз, може призначатися одночасно разом із матеріалами конструювання, але не належить до даних варіанта конструювання. Жорсткості так само, як і геометрія розрахункової схеми, зв'язку й навантаження, є загальними для всіх варіантів конструювання.

Статичний і динамічний розрахунок, підбір арматури й розрахунок сталевих перерізів

Після розрахунку статичної–динаміки, стає доступним режим аналізу результатів статичного й динамічного розрахунку. Крім нього стають доступні й два нові режими: **Железобетонные конструкции** і **Стальные конструкции**. Ці режими призначені для аналізу результатів залізобетонного і сталевих розрахунків. У них можна задати матеріали й перерозрахувати елементи за залізобетонними й сталевими нормативами, переглянути мозаїки й таблиці результатів. Режими **Железобетонные конструкции** та **Стальные конструкции** містять команди сталевих розрахунків вузла схеми, елемента схеми, складових вузлів, залізобетонний локальний режим розрахунку елемента, конструювання балки і колони.

Оновлений призначений для користувача інтерфейс дає можливість задавати початкові дані для розрахунку залізобетонних і сталевих конструкцій безпосередньо в режимі редагування вихідних даних. Якщо перед командою **Выполнить расчет** задати матеріали елементам розрахункової схеми, буде виконаний також розрахунок залізобетонних і сталевих конструкцій. Більше того, утримуючи клавішу **Shift** під час виклику **Режим ⇨ Выполнить**

расчет, можна замовити, які саме варіанти конструювання треба прораховувати. На рис. 1.36 подано вигляд діалогового вікна **Параметры расчетного процессора**.

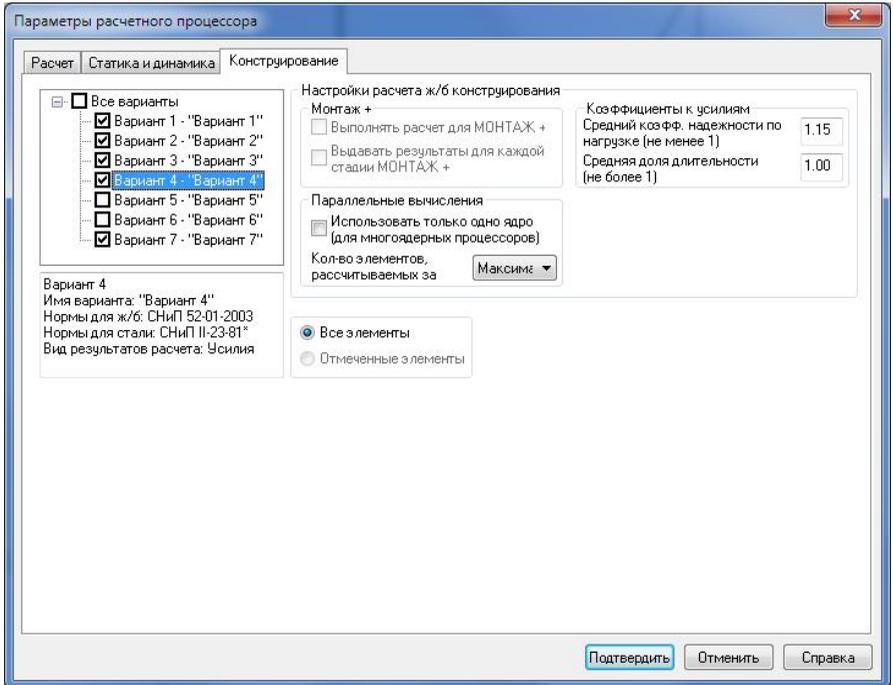


Рис. 1.36. Параметры запуска расчета

У закладці **Конструирование** цього діалогового вікна перераховані всі задані варіанти конструювання й наведені їх параметри. Галочкою позначені ті з них, які будуть розраховані під час наскрізного розрахунку. Якщо прибрати галочку біля імені відповідного варіанта, то цей варіант не розраховуватиметься. Якщо варіантів для розрахунку задано кілька, то їх розрахунок виконується один за одним: спочатку – залізобетонний розрахунок варіанта, потім – сталевий розрахунок того самого варіанта, після чого програма переходить до розрахунку наступного варіанта. Якщо перервати розрахунок, не дорахувавши окремих варіантів конструювання, то все одно можна буде переглядати результати

залізобетонного й сталевих розрахунків тих варіантів конструювання, які все ж встигли дорахуватися.

Наскрізний розрахунок автоматично запускається з вибором пункту меню **Режим** ⇨ **Выполнить расчет** і виконує розрахунки в такій послідовності: статичний і динамічний розрахунок → розрахунок розрахункових сполучень зусиль (PCY) → обчислення реакцій на фрагмент → розрахунок РСН → стійкість за зусиллями або за РСН → обчислення головних і еквівалентних напружень → обчислення уніфікованих зусиль за кожним варіантом конструювання → залізобетонний розрахунок і сталевий розрахунок за кожним варіантом. Так, внісши зміни в схему, можна один раз запустити наскрізний розрахунок і дочекатися його завершення, а не запускати кожен з розрахунків окремо один за одним вручну. Ланцюг наскрізного розрахунку має особливий пункт – обчислення уніфікованих зусиль за кожним варіантом конструювання. Це означає, що неуніфіковані зусилля обчислюються завжди, а уніфіковані можуть мати кілька варіантів, оскільки уніфікація задається та обчислюється в кожному варіанті конструювання. Це дає нам можливість порівняти кілька варіантів уніфікації й визначити найоптимальніший із них, а також порівняти підібрану арматуру або сталеві перерізи з варіантом без уніфікації. І все це – не виходячи з контексту одного завдання.

Якщо викликати команду **Режим** ⇨ **Выполнить расчет**, не користуючись клавішею **Shift**, то розрахунок здійснюватиметься по-різному, залежно від того, з якого режиму роботи програми він викликаний. Якщо розрахунок викликаний з режиму підготовки вихідних даних **Расчетная схема** або з режиму перегляду результатів статичного й динамічного розрахунку **Результаты расчета**, то буде виконаний статичний і динамічний розрахунок схеми, а далі – залізобетонний і сталевий розрахунок усіх заданих варіантів конструювання. Якщо ж команда **Режим** ⇨ **Выполнить расчет** викликається з режиму **Железобетонные конструкции** або **Стальные конструкции**, то буде розрахований тільки один поточний варіант конструювання, а перерахунок статично-динаміки не здійснюватиметься.

1.9. Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи

1. Опишіть основні режими роботи ПК ЛІРА-САПР.
2. Для чого служать команди спадаючого меню «Вибір»?
3. Які ви знаєте основні складові розрахункової схеми?
4. Які ви знаєте команди спадаючого меню «Схема»?
5. З використанням якого діалогового вікна можна призначити типи перерізів елементам розрахункової схеми?
6. Опишіть, чим відрізняються в ПК ЛІРА-САПР поняття «в'язі» від поняття «шарніри».
7. Які функції задаються в меню «Опції»? Опишіть деякі з них.
8. Опишіть критерії задання ознак схеми.
9. Для чого служить інструмент «Поліфільтр»? Опишіть деякі його можливості.
10. У яких випадках використовується термін «Упакування схеми»? Чи є ця функція необхідною?
11. Які ви знаєте засоби візуалізації створеної моделі в ПК ЛІРА-САПР?
12. Яким чином можна відобразити на схемі потрібні нам характеристики?
13. Розповісти про поняття глобальних і локальних координатних осей. У яких випадках це поняття застосовується?
14. Розповісти про можливості команди «Інформація» («ліхтарик»).
15. Які розповсюджені помилки зустрічаються при розрахунку і як їх усувати?
16. Опишіть процес проектування металевих конструкцій в ПК ЛІРА-САПР.
17. Обґрунтуйте для чого призначені завантаження.
18. Опишіть на які види навантажень можливий розрахунок у ПК ЛІРА-САПР.
19. Опишіть основні методи розрахунку, які входять в ПК ЛІРА-САПР.
20. Які ви знаєте типи перерізів?
21. Як змодельовати змінний по довжині поперечний переріз?
22. Які ви знаєте типи вузлів металевих конструкцій?
23. Як виконати підбір поперечного перерізу елемента?
24. Які використовуються принципи розрахунку елементів в СТК-САПР?

25. Які використовуються критерії при заданні РСУ в ПК ЛІРА-САПР?
26. Опишіть схему задання РСУ та РСН. Доцільність використання.
27. Для чого потрібно виконувати об'єднання в уніфіковані групи?
28. Опишіть склад моделі КМ-САПР.
29. Що таке математична модель будинку або вузла?
30. Як виконується імпорт моделі в програму КМ-САПР?
31. Опишіть засоби редагування моделі КМ-САПР.
32. Опишіть таблиці, які створює КМ-САПР.

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ БАЛКОВОЇ КЛІТКИ ВИРОБНИЧОЇ БУДІВЛІ ЗАСОБАМИ ПК ЛІРА-САПР

2.1. Загальні положення

Даний розділ складений для виконання першого курсового проекту «Розрахунок балкової клітки», що входить до програми курсу «Метали і зварювання в будівництві» або «Металеві конструкції», в залежності до навчального плану вищого навчального закладу, із застосуванням комп'ютерних технологій.

Сучасні програмні комплекси надають можливість розраховувати досить складні просторові системи. На рис.2.2 представлена просторова конструктивна схема балкової клітки. В цьому прикладі прийнята спрощена схема: всі вузли спирання другорядних балок на головні, головних балок на колони, опорні вузли колон прийняті шарнірними. Це зроблено з метою надання можливості альтернативного поелементного розрахунку. Тобто, спочатку розраховується однопрольотна другорядна балка, опорами якої служать головні балки, потім розраховується головна балка, опорами якої являються колони, а навантаженням – реакція від другорядних балок. Потім розраховується однопрогонова другорядна балка, опорами якої служать головні балки. Потім розраховуються колони на навантаження від реакцій головних балок. В даному розділі спочатку конструкція балкової клітки розбивається на окремі конструктивні елементи, як це прийнято при розрахунку вручну, а потім розраховується по просторовій схемі. Для статичних поелементних розрахунків було б зручніше використовувати окремі програми, що входять в програмний комплекс ЕСПРІ. Але в цьому розділі також розглянуті питання проектування балок і центрально-стиснених металевих колон, а також вузлів їх з'єднань. Можна було б на цьому спинитися, проте для розгляду просторової моделі балкової клітки існує ряд причин.

По-перше, технологія моделювання просторової балкової клітки, що описана в даному розділі, переслідує мету навчити на достатньо простому прикладі побудові і розрахунку тривимірних стержневих моделей. Наведена балкова клітка, у свою чергу, може бути відправним осередком при скінченно-елементному

моделюванні просторових каркасів багатопверхових будівель. Окрім цього, часто, подібні балкові клітки потребують розрахунків на динамічні дії (наприклад, гармонійні коливання), що останнім часом «правилами хорошого тону» вимагає просторового моделювання.

По-друге, при аналізі результатів розрахунку просторової моделі з'являється можливість порівняння з результатами спрощеної плоскої моделі, що у свою чергу допоможе виявити можливі помилки. Такий підхід, тобто фрагментація складної схеми для можливості оцінки результатів, отриманих у великих і складних моделях, часто схвалюється і демонструється в даному підрозділі.

І, нарешті, по-третє, на даному прикладі показана технологія не тільки визначення напружено-деформованого стану і розрахунку перерізів елементів і вузлів сполучень, але і автоматичне формування з розрахункової схеми креслень стадії КМ в програмі КМ-САПР.

В рамках курсового проекту, а можливо навіть і дипломного може бути виконано комп'ютерний розрахунок більш складної балкової клітки. Наприклад, в конструктивній схемі (рис.2.2) всі вузли змодельовати жорсткими. Порівняння результатів розрахунку двох розрахункових схем (з шарнірними та жорсткими вузлами) тільки на статичне вертикальне навантаження вже може бути предметом невеликого дослідження.

Окрім цього така схема в середовищі ПК ЛІРА-САПР може бути розрахована на більш складні види впливів:

- нерівномірне статичне вертикальне навантаження;
- горизонтальне навантаження, що прикладене в рівні балкової клітки;
- температурний вплив;
- просадка однієї з опор;
- динамічне навантаження (сейсміка, удар, вимушені коливання).

При виконанні курсового або дипломного проекту по дисципліні «Металеві конструкції» слід дотримуватися основного плану роботи, приведенного на рис.2.1.

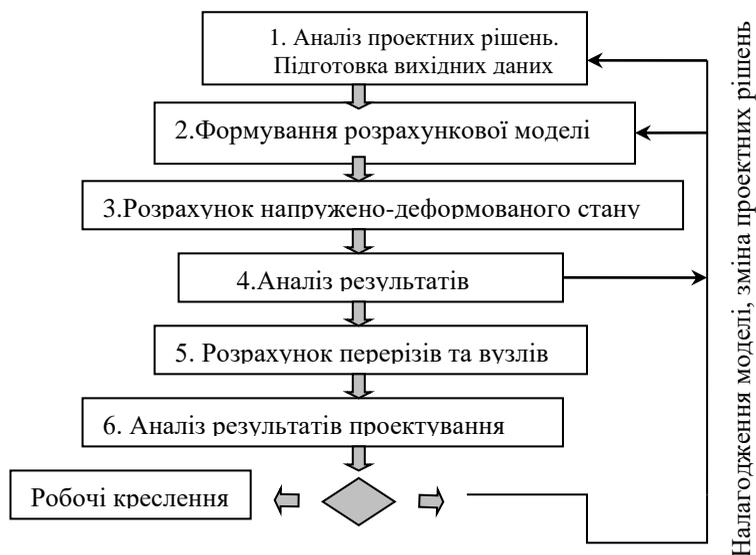


Рис.2.1. Загальна схема розрахунку та проектування конструкцій

При цьому, розглядаючи пункт 2 даних концепції, слід вказати на послідовність задання розрахункової схеми (моделі):

1. Задання геометрії схеми.
- 2*. Формування списку жорсткостей і призначення цих жорсткостних параметрів елементам розрахункової схеми.
- 3*. Призначення граничних умов у вузлах розрахункової схеми.
- 4*. Задання навантажень у відповідних завантаженнях.
5. Формування таблиці розрахункових сполучень зусиль (при необхідності).
- 6**. Формування таблиці динамічних завантажень (при необхідності).

* послідовність виконання дій може бути довільною (наприклад, п.3, 2, 4).

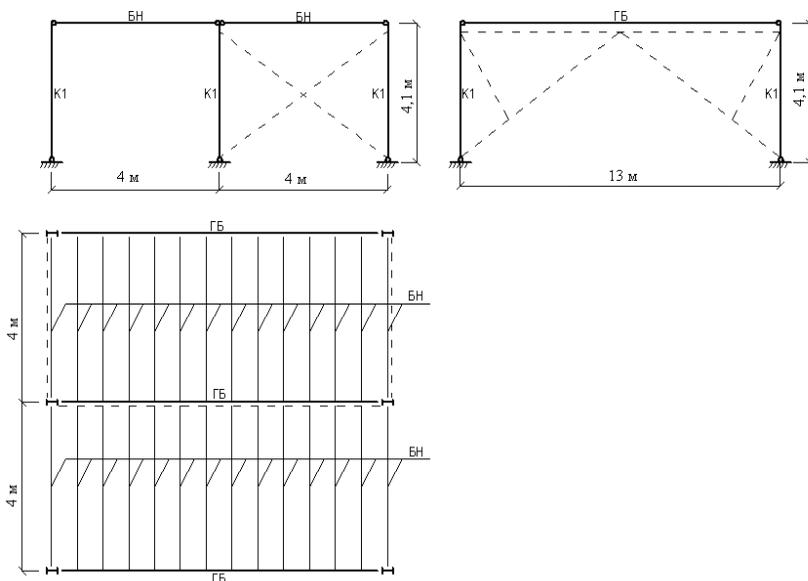
** за наявності динамічних завантажень спочатку формується таблиця динамічних завантажень, а потім таблиця розрахункових сполучень зусиль.

Після виконання розрахунку, окрім аналізу НДС і експорту результатів розрахунку в СТК-САПР (або інші системи), ПК ЛІРА-САПР надає можливість виконання ряду додаткових

розрахункових процедур, необхідних при проектуванні (див. розділ 1). Деякі з них будуть розглянуті в цьому розділі.

Розглянуті з точки зору автоматизованого проектування в даному розділі питання відповідають матеріалу, відображеному в четвертому розділі, а також в літературі [1 – 4]. Концепції створення розрахункових моделей в ПК ЛІРА-САПР, що стосуються реалізації методу скінченних елементів (МСЕ) і на підставі його визначення напружено-деформованого стану конструкцій, відображені в [11 – 16]. Розрахунки металевих конструкцій відповідають чинним нормативним документам [1].

2.2. Компонування конструктивної схеми балкової клітки у програмному комплексі



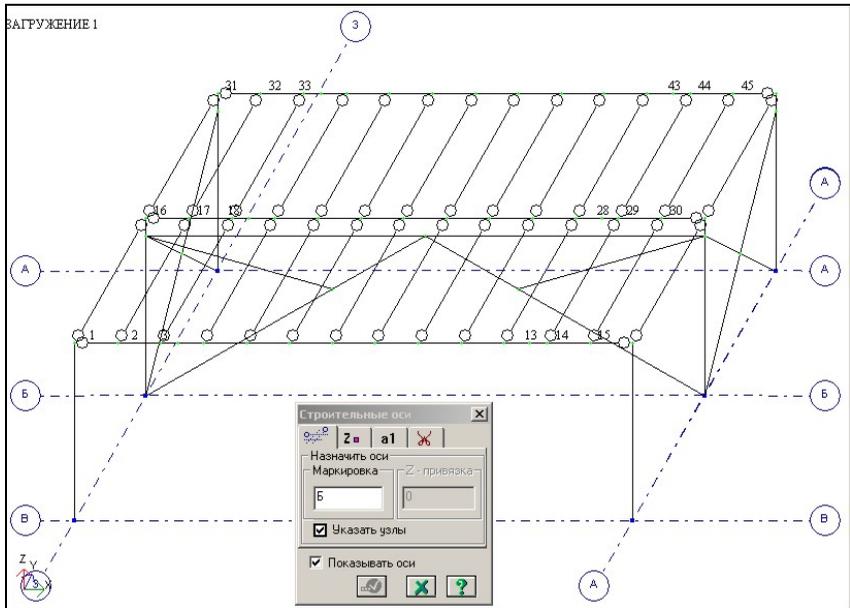


Рис.2.2.

2.3. Розрахункова схема головної балки і визначення зусиль

Початкові дані для розрахунку балки вибираємо з ручного розрахунку, див. підрозділ.4.2.3.

Розміри та розрахункова схема балки показана на рис.2.3.

Матеріал – сталь С245

Навантаження – рівномірно розподілене $q = 124,59 \text{ кН/м}$

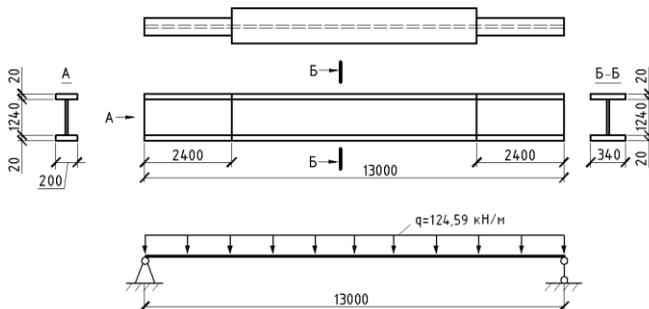


Рис.2.3. Розміри та розрахункова схема головної балки

2.3.1. Створення нової задачі

В програмному комплексі ЛІРА-САПР створюємо нову задачу (кнопка  на панелі інструментів). У діалоговому вікні **Признак схеми** (рис.2.4) задайте наступні параметри:

- ім'я створюваною задачі – **ГБ1** (шифр завдання за умовчанням співпадає з ім'ям завдання);
- ознака схеми – **2 – Три степені свободи в узле (два перемещения и поворот) X0Z**.



Ознака схеми призначається по ступеням свободи – 2 використовується для вирішення плоских задач типу плоских рам і балок стінок.

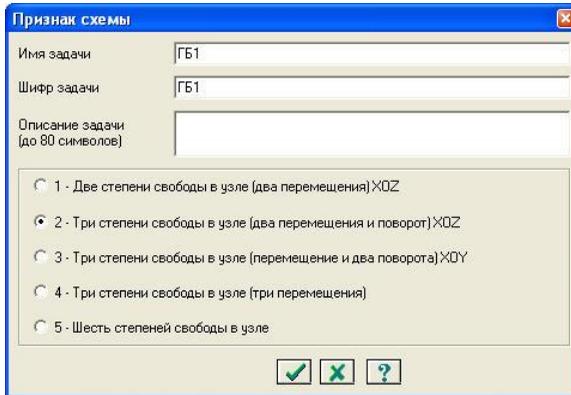


Рис.2.4. Діалогове вікно «Признак схеми»

2.3.2. Створення геометричної схеми балки

➤ З меню **Схема** ⇒ **Создание** ⇒ **Регулярные фрагменты и сети**



відкрийте вікно **Создание плоских фрагментов и сетей**;

➤ У першій закладці задайте крок уздовж першої осі:

L(m)	N
0.5	26

Підтвердьте вибір кнопкою . Буде створено 26 стержнів довжиною по 0,5 м кожний як на рис. 2.5.

Тепер необхідно забезпечити зміну поперечного перерізу на відстані 2400 мм від кінців балки. Для цього необхідно, щоб в

місцях зміни поперечного перерізу були вузли скінченно-елементної схеми. Після створення найближчі вузли знаходяться на відстані 2500 мм від кінців балки, тому пересунемо їх на 100 мм ближче до кінців.

- Ввімкніть відображення номерів вузлів. Для цього викличте панель «Показати» командою меню **Опции** ⇨ **Флаги рисования** (кнопка  на панелі інструментів), на закладці «Узлы» ввімкніть прапорець  «Номера узлов» і клацніть кнопку .
- Ввімкніть режим виділення вузлів командою **Выбор** ⇨ **Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів). Клацніть вузол з номером 6 – виділений вузол забарвлюється червоним кольором.
- Викличте панель «Перемещение объектов» командою меню **Схема** ⇨ **Корректировка** ⇨ **Переместить выбранные объекты**. В полі «dX» панелі «Перемещение объектов» введемо -0,1 м. Клацнемо кнопку . Вузол 6 переміститься на 100 мм проти напрямку осі X.
- Зніміть відмітку з вузла 6. Для цього виберіть команду меню **Выбор** ⇨ **Отмена выделения**.
- Виділіть вузол номер 22. В полі «dX» введіть 0,1 м. Клацніть кнопку . Вузол 22 переміститься на 100 мм по напрямку осі X. Закрийте панель «Перемещение объектов».

Збереження інформації про розрахункову схему

- З меню **Файл** ⇨ **Сохранить** (кнопка  на панелі інструментів), збережіть завдання під ім'ям Г61.

2.3.3.Задання граничних умов

- За допомогою меню **Опции** ⇨ **Флаги рисования** (кнопка  на панелі інструментів) виведіть на екран номери елементів.
- На рис.2.5 представлена отримана скінченно-елементна схема.

Рис.2.5. Нумерація елементів розрахункової схеми (чорним кольором відповідно над елементами)

- З меню **Вибір** виконайте команду **Отметка узлов** (кнопка  на панелі інструментів). За допомогою курсору виділіть крайній лівий вузол (вузли забарвлюються в червоний колір);



Відмітка вузлів виконується за допомогою одиночної вказівки курсором або розтяганням навколо потрібних вузлів «рамочки» при натиснутій лівій кнопці миші.

- З пункту меню **Схема** ⇨ **Связи** (кнопка  на панелі інструментів) викличте вікно **Связи в узлах** (рис.2.6). У цьому вікні задайте шарнірно-нерухому опору, відзначивши прапорцями напрями, по яких заборонені переміщення вузлів (**X, Z**).
- Після призначення зв'язку вузол забарвиться в синій колір.



Рис.2.6. Діалогове вікно «Связи в узлах»

- Виділіть крайній правий вузол за допомогою курсору. У цьому вузлі задайте шарнірно-рухому опору.
- У вікні **Связи в узлах** відзначте напрями, по яких заборонено переміщення вузла (**Z**). Клацніть по кнопці **Применить**;
- За допомогою пункту меню **Вибір** ⇨ **Отметка узлов** (кнопка  на панелі інструментів), натисненням кнопки зніміть активність з операції відмітки вузлів.

2.3.4. Задання жорсткостних характеристик

Перед заданням жорсткостних характеристик необхідно переглянути існуючий сортамент і, при необхідності, його доповнити невистачаючими профілями листового прокату.

Для проведення розрахунку складеної головної балки, якщо необхідний листовий прокат, що становить поперечний переріз балки, відсутній, необхідно внести до файлів сортаменту додаткові листи **1240x12** і **340x20**. Листовий прокат задається в програмі «Сортамент».

- Запустіть **Редактируемый сортамент** через пункт меню **Пуск (файл РС-САПР)**. З меню **Файл** ⇒ **Открыть** виберіть файл сортаменту **LIST2-25_S.SRT**.



*При необхідності, існує можливість створення нового файлу сортаменту, в який можна окремо внести необхідні профілі, потім підключити до ПК ЛПА-САПР, вибравши новий файл сортаменту в меню **Жесткости**.*

Опишемо основні операції РС-САПР. РС-САПР дозволяє переглядати і редагувати існуючі сортаменти металопродукату і створювати нові сортаменти для використання їх в ПК ЛПА-САПР

- **Перегляд сортаменту.** Щоб відкрити файл сортаменту, виберіть пункт меню **Файл** ⇒ **Открыть**. Після цього можна перемкнутися в режим перегляду таблиці матеріалів за допомогою команди меню **Вид** ⇒ **Таблица материалов**.
- **Редагування існуючого сортаменту.** Спочатку відкрийте файл для перегляду. Далі виберіть пункт меню **Правка** ⇒ **Разрешить правку**. Таблиця готова для редагування, тобто можна вносити зміни у файл сортаменту.
- **Створення нового сортаменту.** Щоб відкрити файл сортаменту, виберіть пункт меню **Файл** ⇒ **Новый** і вкажіть тип профілю, для якого створюється сортамент. Після цього необхідно буде заповнити таблицю профілів і таблицю матеріалів.
- Після виконання пункту меню **Правка** ⇒ **Разрешить правку** в наявній таблиці з'являється новий рядок. В цей рядок вставляємо новий профіль. Для цього вводимо найменування,

наприклад 1240 x 12, у відповідні колонки таблиці вводимо висоту та товщину стінки (H , T_w), далі натискаємо кнопку  для автоматичного обчислення геометричних характеристик перерізу профілю за його розмірами у виділених строках.

- З меню **Файл** ⇒ **Сохранить** збережіть активний документ і закрийте програму **РС-САПР**.

Формування типів жорсткості

- За допомогою меню **Жесткости** ⇒ **Жесткости элементов** (кнопка  на панелі інструментів) викличе вікно **Жесткости элементов** (рис.2.7). За допомогою кнопки **Добавить** виведіть список стандартних типів перерізів.

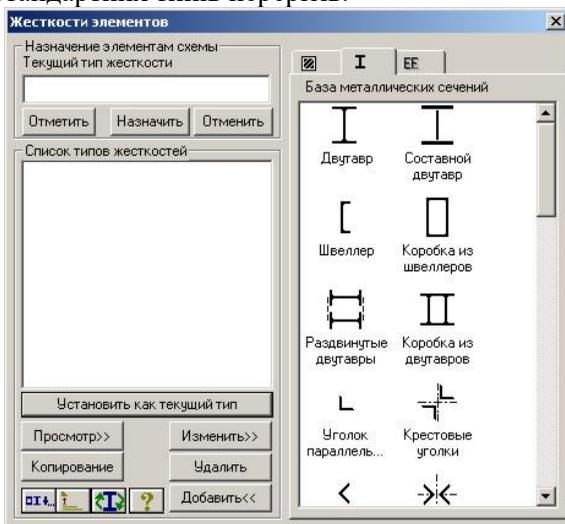


Рис.2.7. Діалогове вікно «Жесткости элементов»

- Перейдіть на другу закладку **База типовых сечений**.
- Подвійним клацанням миші виберіть тип перерізу **Составной двутавр**. У вікні, що з'явилось, **Стальное сечение** задайте параметри перерізу для поясу **Лист 340 x 20**, заздалегідь вибравши файл **Прокат листовой горячекатаный толщиной 2.5...25 мм. Сокращенный сортамент** (рис.2.8). Для стінки в списку профілів з сортаменту **Прокат листовой**

горячекатаный толщиной 2.5...25 мм. Сокращенный сортament вибираємо **Лист 1240 x 12**.

- Оскільки балка змінного перерізу, аналогічно задаємо жорсткісні характеристики для іншого перерізу. Виберіть тип перерізу **Составной двутавр**. У вікні, що з'явилося, **Стальное сечение**, задайте параметри перерізу для поясу **Лист 200 x 20**, заздалегідь вибравши файл **Прокат листовой горячекатаный толщиной 2.5...25 мм. Сокращенный сортament** (рис. 2.8).

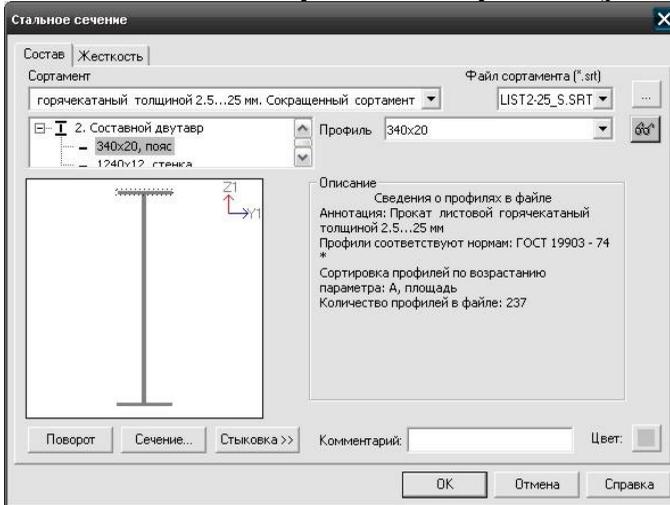


Рис.2.8. Діалогове вікно «Стальное сечение»

- Для стінки в списку профілів з сортamentу **Прокат листовой горячекатаный толщиной 2.5...25 мм. Сокращенный сортament** вибираємо **Лист 1240 x 12**.

В результаті список типів жорсткостей повинен виглядати як на рис.2.9.

Призначення жорсткостей елементам балки

- У діалоговому вікні **Жесткости элементов** подвійним клацанням по рядку 1. **Составной двутавр** зробіть його поточним типом жорсткостей (теж можна зробити, встановивши курсор на відповідному рядку і натиснувши кнопку **Установить как текущий тип**). Виділіть середні елементи схеми (з елемента № 6 по елемент № 21) за допомогою гумового вікна і

команди **Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів);

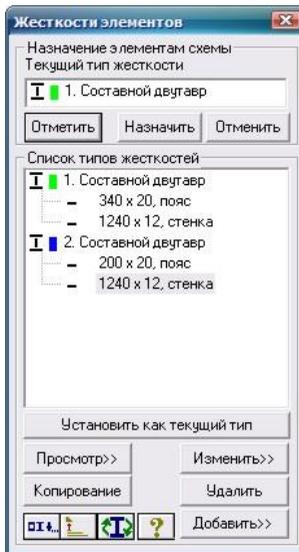


Рис.2.9. Диалогове вікно «Жесткости элементов»

- У вікні **Жесткости элементов** клацніть по кнопці **Назначить** (з елементів знімається виділення). Це є свідченням того, що виділеним елементам привласнена поточна жорсткість.
- Крайнім елементам (№ 1–5 та №22–26) призначте тип жорсткості **2. Составной двутавр**.

2.3.5.Завдання навантажень

Формування завантаження № 1

Рівномірно-розподілене навантаження

- Викличте диалогове вікно **Задание нагрузок** (рис.2.10) за допомогою меню **Нагрузки** ⇒ **Нагрузка на узлы и элементы** (кнопка  на панелі інструментів). У цьому вікні перейдіть на закладку **Нагрузки на стержни**. Потім радіо-кнопками вкажіть систему координат **Глобальная**, напрям – уздовж осі **Z**;

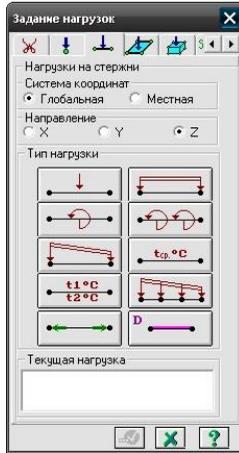


Рис.2.10. Диалогове вікно «Задание нагрузок»

- Виділіть всі елементи балки. Клацанням по кнопці **Равномерно-распределенная нагрузка** викличе вікно **Параметры нагрузки** (рис.2.11).
- У цьому вікні задайте **Значение** навантаження $P = 124.59$ кН. Клацніть по кнопці **Подтвердить**;

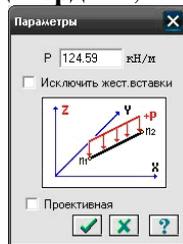


Рис.2.11. Диалогове вікно «Параметры»

- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці . В результаті скінченно-елементна схема головної балки повинна виглядати як на рис.2.12.



Рис.2.12. Скінченно-елементна розрахункова схема головної балки



Візуалізація навантажень, величин навантажень та ін., а також відміна візуалізації номерів кінцевих елементів проводиться за допомогою меню **Опции** ⇒ **Флаги рисования** (кнопка  на панелі інструментів).

Задання розрахункових перерізів для скінчених елементів, що створюють розрахункову схему балки



Для подальшого підбору або перевірки перерізу головної балки в програмі **СТК-САПР** по другому граничному стану (див. розділ 2.5) необхідно задати значення розрахункових перерізів відмінне від 2-х (за умовчанням в стержневих кінцевих елементах два розрахункові перерізи: на початку і в кінці). Така вимога при створенні конструктивних елементів (поняття конструктивного елемента див. в розділі 1) **СТК-САПР** пред'являє для уникнення помилок при розрахунку, оскільки розрахункова схема балки може складатися всього з одного кінцевого елемента. У такому разі пролітний переріз, в якому виникає максимальний згинальний момент (мається на увазі шарнірна оперта однопролітна балка), буде пропущений, якщо не буде призначено хоч би один додатковий розрахунковий переріз.

- Виділіть елементи в місці зміни перерізу розрахункової схеми. За допомогою меню **Схема** ⇒ **Расчетные сечения стержней** (кнопка  на панелі інструментів) викличте діалогове вікно **Расчетные сечения** (рис.2.13). У цьому вікні задайте кількість розрахункових перерізів $N = 3$. Клацніть по кнопці .

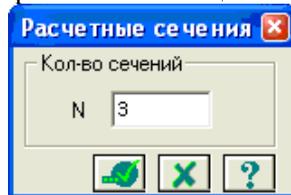


Рис.2.13. Діалогове вікно «Расчетные сечения»

Статичний розрахунок

- Запустити завдання на розрахунок за допомогою меню **Режим** ⇒ **Выполнить расчет** (кнопка  на панелі інструментів).

2.3.6. Перегляд і аналіз результатів розрахунку

- Після виконання розрахунку задачі, перейдіть в режим результатів розрахунку через меню **Режим** ⇒ **Результаты расчета** (кнопка  на панелі інструментів);

У режимі перегляду результатів розрахунку за умовчанням відображається деформована розрахункова схема (рис.2.14).



Рис.2.14. Деформована схема

- Вимкніть деформовану схему командою меню **Схема** ⇒ **Исходная схема** і виведіть на екран епюру M_y (рис.2.15) за допомогою меню **Усилия** ⇒ **Эпюры** ⇒ **Эпюры изгибающих моментов (M_y)** (кнопка , а потім  на панелі інструментів).

Загружение 1
Эпюра M_y
Единица измерения - МН*м



z, y, x
Максимальное усилие 2.63195

Рис.2.15. Епюра згинальних моментів M_y

- Для виведення епюри Q_z (рис.2.16), виконаєте пункт меню **Усилия** ⇒ **Эпюры** ⇒ **Эпюры поперечных сил (Q_z)** (або кнопка  на панелі інструментів).

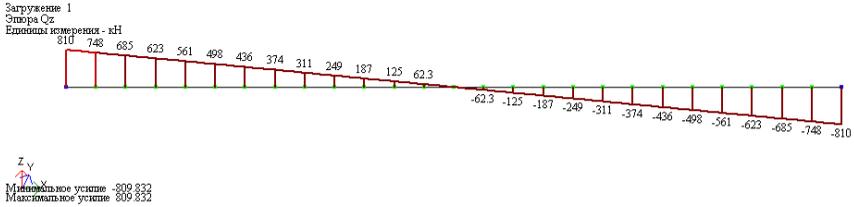


Рис.2.16. Еюра поперечних сил Qz

Результати розрахунку в першому наближенні (як від еквівалентного рівномірно-розподіленого навантаження) неважко перевірити по наступних формулах:

$$M_{\text{пих}} \approx \frac{q_{\text{екв}} \cdot \ell^2}{8} = \frac{124,59 \cdot 13^2}{8} = 2632,0 \text{ кН} \cdot \text{м} = 2,632 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$Q_{\text{пих}} \approx \frac{q_{\text{екв}} \cdot \ell}{2} = \frac{124,59 \cdot 13}{2} = 810 \text{ кН}.$$

2.4. Підбір або перевірка перерізів зварної головної балки складеного перерізу

- Запустіть програму СТК-САПР, з меню **Пуск**.
- Для імпорту розрахункової схеми виконаєте пункт меню **Файл**
 - ⇒ **Імпорт** (кнопка   на панелі інструментів);
 - У діалоговому вікні **Імпорт** (рис.2.17) відкрийте файл **гб1**.
- Після імпорту результатів розрахунку необхідно призначити додаткові характеристики для всіх елементів схеми.

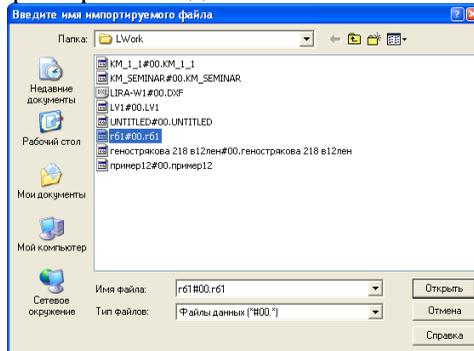


Рис.2.17. Діалогове вікно «Імпорт»

2.4.1. Задання додаткових характеристик для елементів

- Відкрийте вікно **Жесткости элементов** за допомогою кнопки  на панелі задач (рис.2.18).

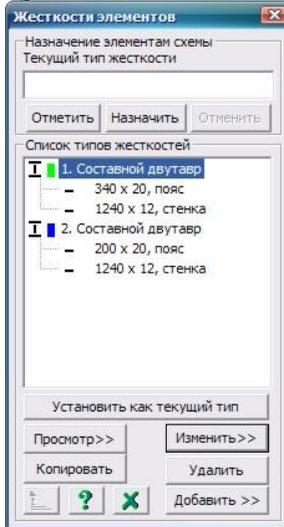


Рис. 2.18. Діалогове вікно «Жесткости элементов»

- Встановіть курсор на рядку **1. Составной двутавр** і натисніть на кнопку **Изменить**;
- У вікні **Стальное сечение** (рис.2.19) в списку, що розкривається, – **Сталь** вкажіть марку сталі **как для пояса**.
- У списку елементів **складеного перерізу** виділіть рядок – **200 x 20** і в списку – **Сталь** виберіть марку сталі **C245**.
- Аналогічно виберіть рядок – **1240 x 12** і задайте для неї марку сталі **C245**.

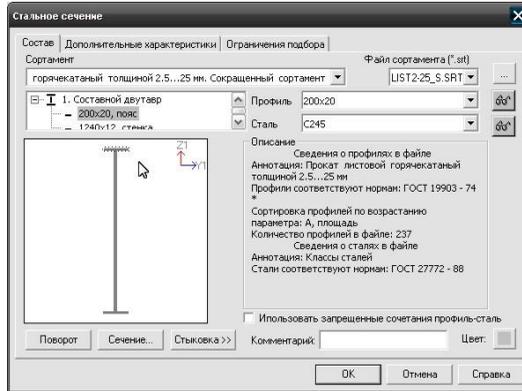


Рис. 2.19. Диалоговое окно «Стальное сечение»

- Перейдіть на закладку **Дополнительные характеристики** (рис.2.20) і вкажіть **Тип элементу Балка**;
Потім задайте наступні характеристики:
 - розрахункова довжина для розрахунку на загальну стійкість $L_{ef} = 1$ м (відстань між другорядними балками);
 - у діалозі **Раскрепления сжатого пояса** встановіть прапорець – **более, делят пролёт на равные части**;
 - довжину прольоту необхідно задати точно, рівною **13 м** (Длина пролета $L = 13$ м)
 - задайте параметр для розрахунку по максимально допустимому прогину – **400**;
- У дереві елементів складеного перерізу виберіть рядок – **1240 x 12**, встановіть прапорець **ставит ребра** і задайте крок 2 м.

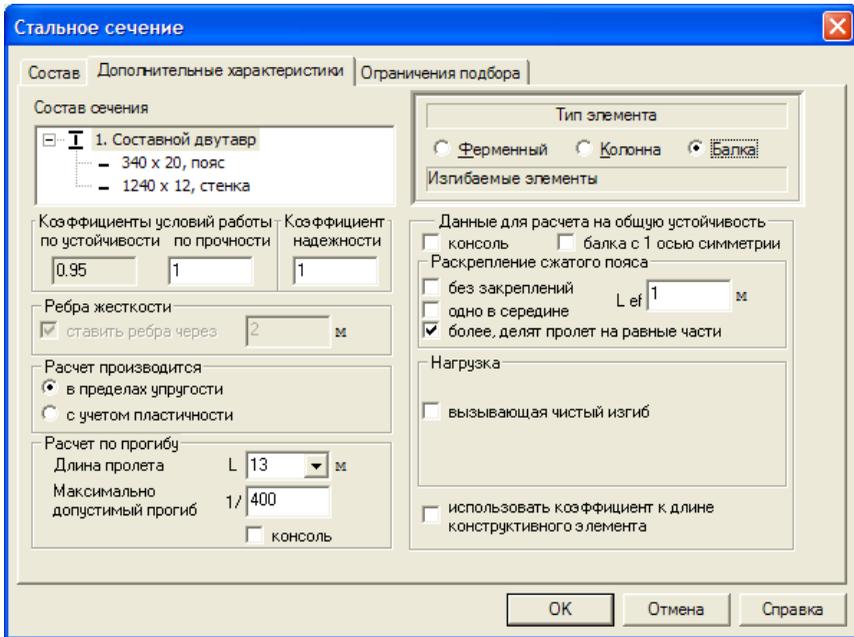


Рис. 2.20. Діалогове вікно «Стальное сечение»

- Аналогічно призначте додаткові характеристики для типу жорсткості **2. Составной двутавр** із поясом – 200 x 20.

2.4.2. Призначення конструктивних елементів



Скінченні елементи, об'єднані в конструктивний (див. розділ 1), при розрахунку розглядаються як єдине ціле. Між елементами, що входять в конструктивний елемент, не повинно бути розривів, вони повинні мати один тип жорсткості, не повинні входити в інші конструктивні елементи і уніфіковані групи, а також мати загальні вузли і лежати на одній прямій.

Створення конструктивного елемента БАЛКА.

- Виділіть середні елементи схеми (з елемента № 6 по елемент № 21) за допомогою гумового вікна і команди **Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів);

- Для створення конструктивного елемента **КБ1**, перейдіть в меню **Редактировать** ⇒ **Создать конструктивные элементы** (кнопка  на панелі інструментів).
- Для крайніх елементів (№ 1-5 та №22 – 26) створіть конструктивний елемент **КБ2 та КБ3** відповідно.

Підбір і перевірка призначених перерізів

- Для виконання підбору і перевірки призначених перерізів, натисніть на кнопку **Расчет** (значок  на панелі інструментів)(рис.2.21).

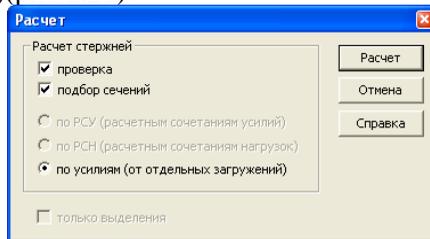


Рис.2.21. Діалогове вікно «Расчет»

2.4.3. Аналіз результатів підбору і перевірки несучої здатності балки

Відображення результатів перевірки у вигляді мозаїки.

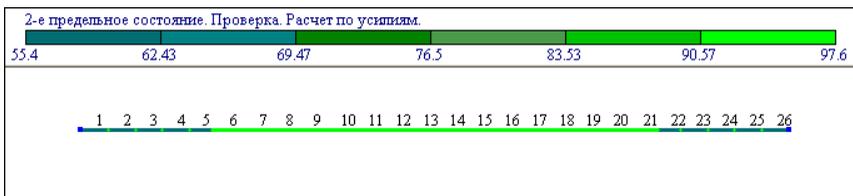
- З меню **Результаты** ⇒ **Мозаика** ⇒ **Проверка, ИС** (кнопка ) відобразить на екрані результати перевірки перерізів балки по I-ому граничному стану (рис.2.22,а).

Числові значення на колірній шкалі відображують відсоток вичерпання несучої здатності кожного скінченного елемента по міцності/стійкості – I граничному стану, по прогину/гнучкості – II граничному стану або по місцевій стійкості (див. розділ 1).

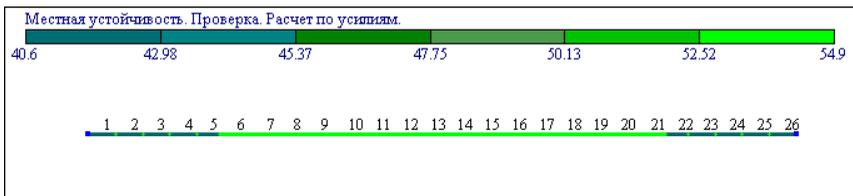
- Після цього виведіть на екран результати перевірки перерізу балки по II-ому граничному стану (кнопка ) (рис.2.22,б).
- Аналогічно виводяться на екран результати перевірки перерізу балки по місцевій стійкості (кнопка ) (рис.2.22,в).



а)



б)



в)

Рис.2.22.а),б),в). Відображення результатів перевірки несучої здатності балки у вигляді мозаїки

Створення таблиці результатів розрахунку

- Викличте діалогове вікно **Таблицы результатов** за допомогою меню **Результаты** ⇒ **Стандартные таблицы** (кнопка  на панелі інструментів) і виберіть зручний формат файлу для аналізу результатів підбору або перевірки (рис.2.23). У цьому вікні виділіть рядок **Проверка**. Клацніть по кнопці .

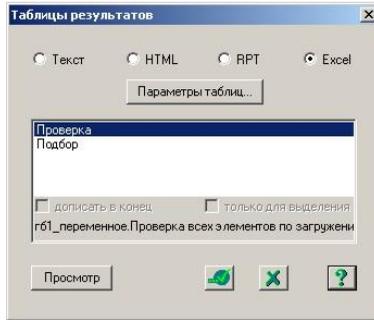


Рис.2.23. Диалогове вікно «Таблицы результатов»

На рис.2.24 приведена стандартна таблиця перевірки трьох скінченних елементів: елемента 13 в середині прольоту, елемента 6 в місці зміни перерізу та елемента 1 на опорі балки.

Элемент	НС	Группа	Шаг ребер (планок)	Фб min	Проценты исчерпания несущей способности балки по сечениям, %									Длина элемента	
					нор	тау	с1	УБ	Прг	УС	УП	1ПС	2ПС		М.У
Сечение: 1. Составной двутавр															
Сечение: 340 x 20, пояс; стыковка															
Профиль: 340 x 20; ГОСТ 19903 - 74*															
Сталь: С245; ГОСТ 27772-88															
Сортамент: Прокат листовой горячекатаный толщиной 2.5...25 мм. Сокращенный сортамент															
Сечение: 1240 x 12, стенка															
Профиль: 1240 x 12; ГОСТ 19903 - 74*															
Сталь: С245; ГОСТ 27772-88															
Сортамент: Прокат листовой горячекатаный толщиной 2.5...25 мм. Сокращенный сортамент															
13	1	КБ2	2.00	1.000	96	3	80	0	98	37	55	96	98	55	8.20
13	2	КБ2	2.00	1.000	96	2	81	0	98	37	55	96	98	55	8.20
13	3	КБ2	2.00	1.000	96	0	81	0	98	37	55	96	98	55	8.20
Сечение: 2. Составной двутавр															
Сечение: 200 x 20, пояс; стыковка															
Профиль: 200 x 20; ГОСТ 19903 - 74*															
Сталь: С245; ГОСТ 27772-88															
Сортамент: Прокат листовой горячекатаный толщиной 2.5...25 мм. Сокращенный сортамент															
Сечение: 1240 x 12, стенка															
Профиль: 1240 x 12; ГОСТ 19903 - 74*															
Сталь: С245; ГОСТ 27772-88															
Сортамент: Прокат листовой горячекатаный толщиной 2.5...25 мм. Сокращенный сортамент															
1	1	КБ1	3.72	1.000	0	46	21	0	55	37	0	46	55	37	2.40
1	2	КБ1	3.72	1.000	10	44	22	0	55	35	26	44	55	35	2.40
1	3	КБ1	3.72	1.000	20	43	26	0	55	35	26	43	55	35	2.40
5	1	КБ1	3.72	1.000	72	32	62	0	55	38	27	72	55	38	2.40
5	2	КБ1	3.72	1.000	78	30	67	0	55	39	28	78	55	39	2.40
5	3	КБ1	3.72	1.000	83	29	71	0	55	41	29	83	55	41	2.40

Рис.2.24. Стандартна таблиця перевірки перерізів балки

- Для перегляду результатів підбору у вікні **Таблицы результатов** (рис.2.23) виберіть рядок **Подбор** та клацніть по кнопці . На рис.2.25 приведена стандартна таблиця підбору перерізів.

Элемент	НС	Группа	Шаг ребер (планок)	Фб min	Проценты исчерпания несущей способности балки по сечениям, %										Длина элемента
					нор	тау	с1	УБ	Прг	УС	УП	1ПС	2ПС	М.У	
Сечение: 1. Составной двутавр															
Сечение: 340 x 20, пояс; стыковка															
Профиль: 340 x 20; ГОСТ 19903 - 74*															
Сталь: С245; ГОСТ 27772-88															
Сортамент: Прокат листовой горячекатаный толщиной 2.5...25 мм. Сокращенный сортамент															
Сечение: 1240 x 12, стенка															
Профиль: 1240 x 12; ГОСТ 19903 - 74*															
Сталь: С245; ГОСТ 27772-88															
Сортамент: Прокат листовой горячекатаный толщиной 2.5...25 мм. Сокращенный сортамент															
		КБ2	Подобрано: 1. Составной двутавр												
			340 x 20 пояс; стыковка												
			Профиль: 340 x 20; ГОСТ 19903 - 74*												
			Сталь: С245; ГОСТ 27772-88												
			1240 x 12 стенка												
			Профиль: 1240 x 12; ГОСТ 19903 - 74*												
			Сталь: С245; ГОСТ 27772-88												
13	1	КБ2	2.00	1.000	96	3	80	0	98	37	55	96	98	55	8.20
13	2	КБ2	2.00	1.000	96	2	81	0	98	37	55	96	98	55	8.20
13	3	КБ2	2.00	1.000	96	0	81	0	98	37	55	96	98	55	8.20
Сечение: 2. Составной двутавр															
Сечение: 200 x 20, пояс; стыковка															
Профиль: 200 x 20; ГОСТ 19903 - 74*															
Сталь: С245; ГОСТ 27772-88															
Сортамент: Прокат листовой горячекатаный толщиной 2.5...25 мм. Сокращенный сортамент															
Сечение: 1240 x 12, стенка															
Профиль: 1240 x 12; ГОСТ 19903 - 74*															
Сталь: С245; ГОСТ 27772-88															
Сортамент: Прокат листовой горячекатаный толщиной 2.5...25 мм. Сокращенный сортамент															
		КБ1	Подобрано: 2. Составной двутавр												
			320 x 16 пояс; стыковка												
			Профиль: 320 x 16; ГОСТ 19903 - 74*												
			Сталь: С245; ГОСТ 27772-88												
			1000 x 10 стенка												
			Профиль: 1000 x 10; ГОСТ 19903 - 74*												
			Сталь: С245; ГОСТ 27772-88												
1	1	КБ1	3.00	1.000	0	64	38	0	81	98	0	64	81	98	2.40
1	2	КБ1	3.00	1.000	12	62	38	0	81	98	53	62	81	98	2.40
1	3	КБ1	3.00	1.000	24	59	41	0	81	98	53	59	81	98	2.40
5	1	КБ1	3.00	1.000	85	45	76	0	81	98	61	85	81	98	2.40
5	2	КБ1	3.00	1.000	92	43	81	0	81	98	63	92	81	98	2.40
5	3	КБ1	3.00	1.000	98	41	86	0	81	98	65	98	81	98	2.40

Рис.2.25. Стандартна таблиця підбору перерізів балки

Як видно з рисунків, підбираються перерізи меншого профілю з більшим процентом використання.

Для всіх розрахованих перерізів елементів в таблицях виводяться результати перевірок по міцності і стійкості (по першому граничному стану), гнучкості і прогину (по другому граничному стану). Результати виводяться у вигляді відсотків використання перерізу порівняно з граничною несучою здатністю по тій або іншій перевірці. Тобто, результат завжди дорівнює:

$$\text{Відсоток використання по перевірці} = \frac{100\% * \text{максимальне значення ---}}{\text{гранична несуча здатність}}$$

При формуванні результатів використане також поняття відсотка використання по 1-му граничному стану і по 2-му граничному стану. Відсоток використання перерізу по 1-му граничному стану «1ПС» – найбільший з відсотків по перевірках міцності і стійкості, взятий по всіх розрахункових сполученнях зусиль.

$$\%ис1ПС = \max\{\%ис(i)\} \text{-- по міцності і стійкості.}$$

Відсоток використання перерізу по 2-му граничному стану «2ПС» – найбільший з відсотків по перевірках граничної гнучкості або прогину, взятий по всіх розрахункових сполученнях зусиль.

$$\%ис2ПС = \max\{\%ис(i)\} \text{-- по гнучкості, прогину.}$$

Відсоток використання перерізу по місцевій стійкості «МУ» – найбільший з відсотків по стійкості стінки і полиці, взятий по всіх розрахункових сполученнях зусиль.

$$\%исМУ = \max\{\%ис(i)\} \text{-- по місцевій стійкості,}$$

де і - кількість розрахункових сполучень зусиль.

Значення стовпців таблиць на рис.2.24 та рис.2.25 наступне:

ЭЛЕМЕНТ	Номер скінченного елемента
НС	Номер перерізу по довжині скінченного елемента
ГРУППА	Група уніфікації елемента, конструктивний елемент
ШАГ РЕБЕР (Планок)	Крок поперечних ребер жорсткості або просвіт між сполучними планками
Фб min	Мінімальний коефіцієнт поперечного згину

Далі слідує відсотки вичерпання несучої здатності по перевірках СНіП:

нор	Нормальні напруження
тау	Дотичні напруження
с1	Приведені напруження
УБ	Загальна стійкість балки
Прг	Відносний прогин балки
УС	Місцева стійкість стінки
1ПС	Найбільший відсоток використання перерізу по 1-му граничному стану
2ПС	Найбільший відсоток використання перерізу по 2-му граничному стану
М.У	Найбільший відсоток використання перерізу по місцевій стійкості
ДЛИНА ЭЛЕМЕНТА	Геометрична довжина конструктивного елемента

Нижче ми детально проаналізуємо, які саме розрахунки виконуються в СТК-САПР під час перевірки перерізів елементів. Для порівняння ми використаємо ручний розрахунок головної балки, приведений в розд. 2.4, «Розрахунок головної балки».

нор – перевірка міцності балки в середині прольоту. В колонці *нор* (див. рис. 2.24) процент використання перерізу елемента 13 дорівнює 96%. Перевіряємо:

$$\%ис = \frac{\sigma}{R_y \gamma_c} \times 100\% = \frac{230,6}{240 \cdot 1,0} \times 100 = 96,1 \%$$

де σ – максимальне нормальне напруження в середині прольоту, вираховане в **підрозділі 2.4.3.**

тау – перевірка міцності по дотичному напруженню переріза в опорній зоні. В колонці *тау* (див. рис. 2.24) процент використання перерізу елемента 1 дорівнює 46%. Переконаємось:

$$\%ис = \frac{\tau}{0,58 R_y \gamma_c} \times 100\% = \frac{64,1}{0,58 \cdot 240 \cdot 1,0} \times 100 = 46,0 \%$$

де τ – максимальне дотичне напруження, вираховане в **підрозділі 2.4.3.**

с1 – перевірка міцності по приведеному напруженню буде небезпечною в місці зміни перерізу, тобто на кінці елемента 5. В

колонці cI (див. рис. 2.24) процент використання перерізу елемента 5 дорівнює 71%. Переконаємось:

$$\%uc = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_f^2}}{1,15R_y\gamma_c} \times 100\% = \frac{\sqrt{193,23^2 + 3 \cdot 21,1^2}}{1,15 \cdot 240 \cdot 1,0} \times 100 = 71,3 \%$$

де σ_1 – нормальне напруження в місці зміни перерізу під полицею двотавра, вираховане в підрозділі 2.4.5,

τ_f – дотичне напруження в цій самій точці. Вираховуємо його за формулою Журавського:

$$\tau_f = \frac{Q_I \cdot S_f}{I_{1x} \cdot t_w} = \frac{510,49 \cdot 2520 \cdot 10}{508182,4 \cdot 1,2} = 21,1 \text{ МПа}$$

тут Q_I – перерізуюча сила в місці зміни перерізу, обрахована в підрозділі 2.4.5, а S_f – статичний момент поясу балки в місці зміни перерізу:

$$S_f = \frac{t_f \cdot b_{1f} \cdot (h - t_f)}{2} = \frac{2 \cdot 20 \cdot (128 - 2)}{2} = 2520 \text{ см}^3$$

УБ – перевірка стійкості балки. Судячи зі значення в колонці $\Phi_{b \min} = 1$, перевірка стійкості балки за формулою $\frac{M}{\varphi_b W_c} \leq R_y \gamma_c$ не виконувалась. Це значить, що була виконана умова, при якій допускається не виконувати цю перевірку. Ручний розрахунок у п. 2.4.6 підтверджує виконання такої умови.

Прг – перевірка прогину балки дає для елемента 13 в середині прольоту 98%. Перевіряємо:

$$\frac{f}{\ell} = \frac{5 M_n \ell}{48 EJ} = \frac{5 \cdot 2210,73 \cdot 10^{-3} \cdot 13}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 730490,3 \cdot 10^{-8}} = \frac{1}{512,4};$$

$$\%uc = \frac{f/\ell}{[f/\ell]_u} \times 100\% = \frac{1/512,4}{1/400} \times 100 = 78,1 \% \text{ – не співпадає.}$$

Розбіжність результатів в даному випадку викликана тим, що ЛР-СТЕ порахував прогин по значенню граничного моменту $M = 2631,9$ кН·м, а не по характеристичному значенню моменту $M_n = 2210,73$ кН·м. Другою причиною розбіжності є те, що прогин

балки змінного по довжині перерізу є насправді трохи більшим за прогин звичайної балки, як вважалося при ручному визначенні прогину.



Щоб СТК-САПР рахував прогини по характеристичним значенням моментів, необхідно в вихідних даних для статичного розрахунку задати сполучення навантажень: РСУ чи РСН (див п. 1.7.1 «Вихідні дані для розрахунку»), а ще задати таблицю коефіцієнтів для визначення прогинів (див. рис. 1.19).

УС – перевірка місцевої стійкості стінки балки. СТК-САПР не враховує локальні напруження, тобто в формулі перевірки місцевої стійкості (2.66) локальне напруження завжди нульове $\sigma_{loc} = 0$, тому неможливо порівняти результати машинного і ручного розрахунків. Тому далі просто переконаємось в справедливості чисел, які видає СТК-САПР без врахування локального напруження. Для середнього прольоту (елемент 13) машинний розрахунок дає 37% (див. рис. 2.25). Переконуємось:

$$\%uc = \frac{y}{\gamma_c} \times 100\% = \frac{0,3746}{1} \times 100 = 37,46\%, \text{ де}$$

$$y = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{228,72}{610,55} + 0\right)^2 + 0} = 0,3746$$

де значення σ та σ_{cr} взяті з ручного розрахунку (п.2.4.7), а дотичне напруження $\tau = 0$, оскільки в середині прольоту перерізуюча сила $Q = 0$.

Перевірка місцевої стійкості на опорі з $Q = 809,84$ кН, $M = 0$ дає 37%. Перевіряємо:

$$\%uc = \frac{y}{\gamma_c} \times 100\% = \frac{0,407}{1,0} \times 100 = 36,6 \%$$

$$y = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} = \sqrt{0 + \left(\frac{54,425}{148,63}\right)^2} = 0,366$$

де нормальне напруження на опорі $\sigma = 0$, а дотичне напруження

$$\tau = \frac{Q}{t_w \cdot h_w} = \frac{809,84}{1,2 \cdot 124} = 5,4425 \text{ кН} / \text{см}^2 = 54,425 \text{ МПа.}$$

Найбільше значення при машинній перевірці місцевої стійкості стінки виникає в місці зміни перерізу, тобто на кінці елемента 5 (див. рис. 2.25), це значення 41%. Перевіряємо:

$$\%uc = \frac{y}{\gamma_c} \times 100\% = \frac{0,407}{1,0} \times 100 = 40,7 \%$$

$$y = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{193,71}{578,8} + 0\right)^2 + \left(\frac{34,33}{148,63}\right)^2} = 0,407$$

тут дотичне напруження τ та нормальне напруження σ вираховані на відстані 2,4 м від опори від моменту $M_{x=2,4}$, та перерізуючої сили $Q_{x=2,4}$:

$$\tau = \frac{Q_{x=2,4}}{t_w \cdot h_w} = \frac{510,82}{1,2 \cdot 124} = 3,433 \text{ кН / см}^2 = 34,33 \text{ МПа}$$

$$\sigma = \frac{M_{x=2,4} \cdot h_w / 2}{I_{1x}} = \frac{1584,78 \cdot 100 \cdot 124 / 2}{508182,4} = 19,37 \text{ кН / см}^2 = 193,7 \text{ МПа}$$

$$M_{x=2,4} = \frac{q \cdot x \cdot (l - x)}{2} = \frac{124,59 \cdot 2,4 \cdot (13 - 2,4)}{2} = 1584,78 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$Q_{x=2,4} = q \cdot \left(\frac{l}{2} - x\right) = 124,59 \cdot (6,5 - 2,4) = 510,82 \text{ кН}$$

а критичні нормальне σ_{cr} та дотичне τ_{cr} напруження вираховані як

$$\sigma_{cr} = \frac{c_{cr} R_y}{\lambda_w^2} = \frac{30 \cdot 240}{3,53^2} = 578,8 \text{ МПа}$$

від $c_{cr} = 30$ – коефіцієнт узятий з табл.21 [8] при

$$\delta = \beta \frac{b_{1f}}{h_{ef}} \left(\frac{t_f}{t_w}\right)^3 = 0,8 \frac{20}{124} \left(\frac{2}{1,2}\right)^3 = 0,6 < 0,8$$

$$\tau_{cr} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2}\right) \frac{R_s}{\lambda_{ef}^2} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{1,62^2}\right) \frac{0,58 \cdot 240}{3,527^2} = 148,63 \text{ МПа}$$

де μ – відношення більшої сторони пластинки (відсіку) до меншої:

$$\mu = \frac{h_w}{a} = \frac{200,0}{124,0} = 1,61$$

УП – перевірка місцевої стійкості стисненого поясу балки. СТК-САПР дає 55%. Пересвідчуємось:

$$\%uc = \frac{b_{ef}/t_f}{[b_{ef}/t_f]} \times 100\% = \frac{8,2}{14,65} \times 100 = 56,0 \%$$

Тут величини b_{ef}/t_f та $[b_{ef}/t_f]$ взяті з ручного розрахунку, п. 2.4.8.

Невелика розбіжність викликана тим, що СТК-САПР згідно з п. 7.27[8] враховує недонапруження в поясі: величину $\sqrt{R_y \varphi_m / \sigma} > 1$.

Для приведеного розрахунку:

1ПС – це, відповідно, максимальна з перевірок: нор, тау, с1, УБ.

2ПС – дорівнює Прг.

МУ – це, відповідно, максимальне з чисел: УС або УП.



При перевищенні якого-небудь з відсотків використання по виконаних перевірках, можна або ж скористатися функцією підбору перерізу, або ж змінивши які-небудь параметри: геометрію, клас сталі, розрахункові довжини, крок поперечних ребер і так далі, виконати повторні перевірки і ітераційно досягнути необхідного результату. При цьому необхідно пам'ятати, що при значній різниці в заданих і підібраних перерізах при розрахунках статично-невизначних систем, необхідно повернутися в розрахункову схему і уточнити жорсткості для отримання достовірної картини НДС.

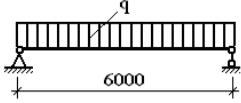
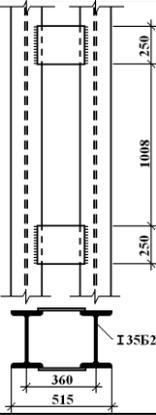
2.5. Розрахунок другорядних балок і колон

Даний підрозділ, на основі прикладу, викладеного в пп.2.3, 2.4, припускає самостійне виконання розрахунків простих елементів конструкцій, що входять до складу балкової клітки: другорядної балки і центрально-стиснутої колони складеного перерізу.

Початкові дані завдань, пропонованих до самостійного виконання, приведені в табл.2.1 [1].

Таблиця 2.1

Початкові дані завдань, пропонованих
до самостійного виконання

Параметри	Другорядна балка	Колона
Геометрія, мм		
Переріз	Прокатний двотавр № 35 Б1	
Граничні умови	Шарнірно-нерухома і рухома опори	Шарнірно-нерухома і рухома опори
Навантаження	Рівномірно розподілене навантаження інтенсивністю $q=30,86$ кН/м; власна вага з коеф. надійності $\gamma_f = 1,05$	Центрально-стискаюча сила $N=2268$ кН; власна вага з коеф. надійності $\gamma_f = 1,05$
Марка сталі	C245	C245
Додаткові дані	Підбір або перевірку перерізу проводити з урахуванням розвитку пластичних деформацій сталі; коеф. умов роботи конструкції по міцності $\gamma_c = 1,1$;	Розрахункові довжини $Lz1=Ly1=7.15$; Розрахункова довжина для визначення Φ_b рівна

Параметри	Другорядна балка	Колона
	максимально допустимий прогин $-1/200$; перевірку стійкості не виконувати, оскільки балка по всій довжині розкріплена	нулю, оскільки колона центрально-стиснута; гранична гнучкість колони як для Основної колони ; коэф. умов роботи конструкції по міцності і стійкості $\gamma_c = 1,0$

Нижче приводяться деякі рекомендації:

1. Розрахункову модель рекомендується виконувати, складаючи з одного скінченного елемента, з призначенням п'яти або більш розрахункових перерізів для балки.

2. Виконувати створення конструктивного елемента не потрібно, якщо схема складатиметься з одного скінченного елемента.

При виконанні розрахунків приведених прикладів, якщо зусилля відомі, наприклад, з розрахунку вручну, можна скористатися локальним режимом роботи СТК-САПР або програмою «Расчет сечений элементов», що входить в Електронний довідник інженера ЕСПРІ, розділ «Сталь», минувши стадію задання скінченно-елементної моделі і визначення НДС. Такий приклад наведений в п.2.6.

Порівняння результатів розрахунків, виконаних програмою, з результатами розрахунків вручну можна провести, використовуючи [1].

2.6. Приклад розрахунку перерізу балки з одним прогоном в локальному режимі роботи програми СТК-САПР

Нижченаведений приклад демонструє прийоми роботи в локальному режимі роботи програми СТК-САПР і програми «Расчет сечений элементов», («Сталь»), що входить до Електронного довідника інженера ЕСПРІ. Робота демонструється на прикладі розрахунку сталеві балки двотаврового перерізу, що навантажена в двох площинах.

➤ Викличте програму СТК-САПР, з меню **Пуск**.

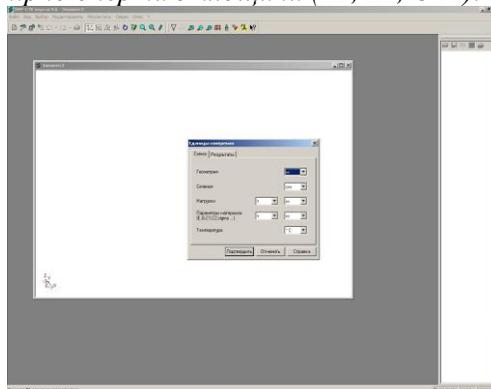
Завдання вихідних даних

- Викличте команду меню **Файл** ⇒ **Новый файл** ⇒ **Элемент** (кнопка **Создать** ).
- У діалоговому вікні **Единицы измерения** вкажіть радіо-кнопкою одиниці вимірювання початкових даних і результатів розрахунку і натисніть **Подтвердить** (рис.2.27).
- У діалоговому вікні **Сведения о задаче** (рис.2.27) введіть **Комментарий** (шифр задача) (необов'язково); **Номер элемента**, який за умовчанням є ім'ям файлу; **Длина элемента** – в даному завданні задайте **6 м**; у полі **Расположение элемента** – вкажіть радіо-кнопкою **Вертикальное** або **Горизонтальное** (вказує, як розташовуватимуться малюнки епюр в звіті).

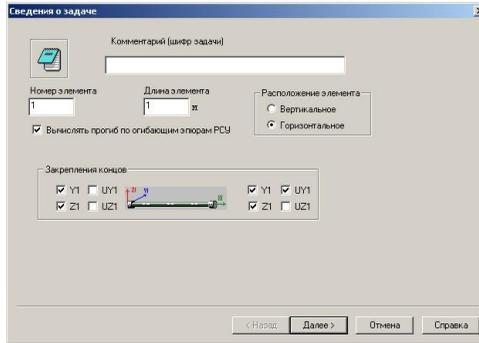
 Для згинальних елементів, передбачена можливість підбору або перевірки по другому граничному стану (прогинам) по згинаючих епюрах розрахункових поєднань зусиль.

- Встановіть прапорець **Вычислять прогиб по огibaющим эпюрам РСУ** і встановіть прапорці в полі **Закрепления концов**. ($Y1, Z1$ – заборона переміщень по напрямку відповідних місцевих осей стержня, $UY1, UZ1$ – закріплення по кутам поворотів навколо відповідних місцевих осей елемента).

 У даному завданні задається балка шарнірно оперта на лівому кінці в обох напрямках ($Y1, Z1$), а на правому кінці закріплена в своїй площині і шарнірно оперта з площини ($Y1, Z1, UY1$).



a)



б)

Рис.2.27. Завдання вихідних даних

- Натисніть кнопку **Далее**.
- У діалоговому вікні **Расчетные усилия** натисніть кнопку **Количество сочетаний**, у вікні, що відкрилося, введіть число **5** і натисніть кнопку **ОК**.
- У таблиці заповніть стовпець номерів перерізів (**сеч.**) порядковими номерами **1, 2, 3, 4, 5** і відповідно для кожного перерізу вкажіть в таблиці відповідні зусилля (для балки – згинальні моменти, і перерізуючі сили див. рис.2.28) за правилом знаків, які показані на схемі в правому нижньому кутку діалогового вікна.
- По закінченню заповнення таблиці **Расчетные усилия** натисніть кнопку **Готово**.
- У діалоговому вікні **Назначьте тип сечения** подвійним клацанням миші або безпосередньою вказівкою миші і натисненням кнопки **ОК** виберіть тип перерізу **Двутавр** (рис.2.28);

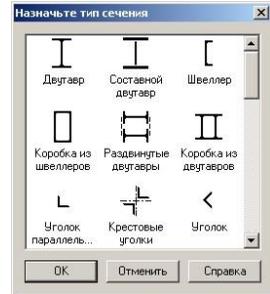
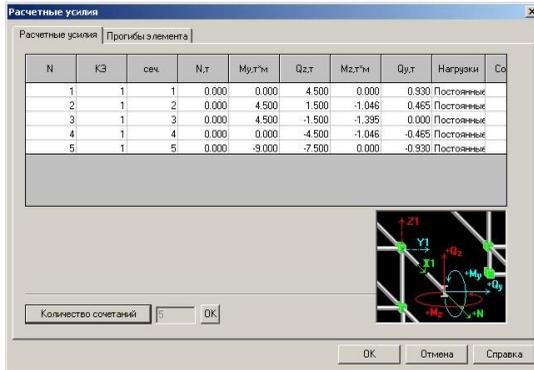


Рис.2.28. Задання зусиль і вибір типу перерізу

- У діалоговому вікні **Стальное сечение** на першій закладці **Состав** виберіть в списку, що розкривається, **Сортамент** ⇨ **Двутавр с непараллельными гранями полков** ⇨ **Сокращенный сортамент**. У розкритому списку **Профиль** виберіть профіль двутавра 22 і в розкритому списку **Сталь** виберіть клас сталі С245 (рис.2.29).
- Перейдіть на закладку **Дополнительные характеристики** (рис.2.49). Вкажіть радіо-кнопкою в полі **Тип элемента** ⇨ **Балка** (відповідає розрахунку згинальних елементів, відповідно до СНиП II-23-81* «Стальные конструкции»).
- Введіть необхідні дані по СНиП II-23-81* «Стальные конструкции» для даної задачі: **Коеффициент условий работы по прочности** – 1.1; **Коеффициент надежности** – 0.95; в полі **Расчет производится** вкажіть радіо-кнопку **в пределах упругости**; у полі **Расчет по прогибу** вкажіть **Максимально допустимый прогиб** рівний 1/250; у полі **Данные на общую устойчивость** введіть в **Раскрепление сжатого пояса** – для розрахунку на загальну стійкість введіть розрахункову довжину **Lef** = 1.5 м (припускаємо, що балка розкріплена з площини прогонами з кроком 1.5 м).

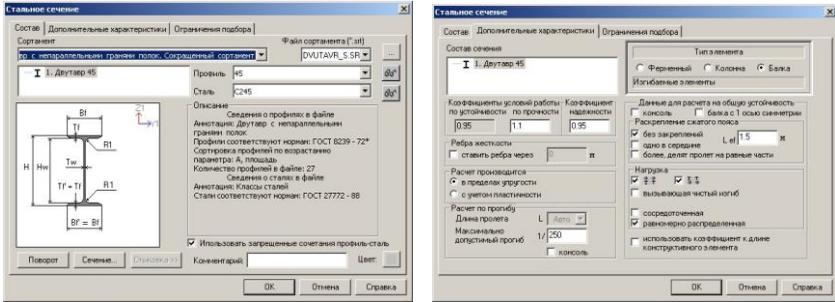


Рис.2.29. Задання параметрів і додаткових характеристик для розрахунку перерізу балки

- Третя закладка **Ограничения подбора** служить для установки параметрів обмеження підбору. У поле **Ограничения подбора** вводяться габарити по осях і мінімальна товщина, що дозволяє обмежувати мінімальну і максимальну висоту і ширину перерізів при підборі. Ця функція найчастіше використовується при підборі зварних складених перерізів. Натисніть кнопку **ОК**.

2.6.1.Результаты расчета

- Виконайте пункт меню **Результаты** ⇒ **Выполнить проверку элемента** (кнопка ) або **Результаты** ⇒ **Выполнить подбор элемента** (кнопка ) для перевірки або підбору перерізу елементу металевих конструкцій;
- Щоб переглянути результати розрахунку в окремій точці елемента, виберіть пункт меню **Результаты** ⇒ **Выбор сечения** (кнопка ) і клацніть в цю точку на будь-якій з епор;
- Для переходу на наступну або попередню точку, виберіть пункти меню **Результаты** ⇒ **Следующее сечение** (кнопка ) , **Результаты** ⇒ **Предыдущее сечение** (кнопка ) , а для повернення в режим перегляду результатів по елементу в цілому – **Результаты** ⇒ **Элемент в целом** (кнопка ) ;

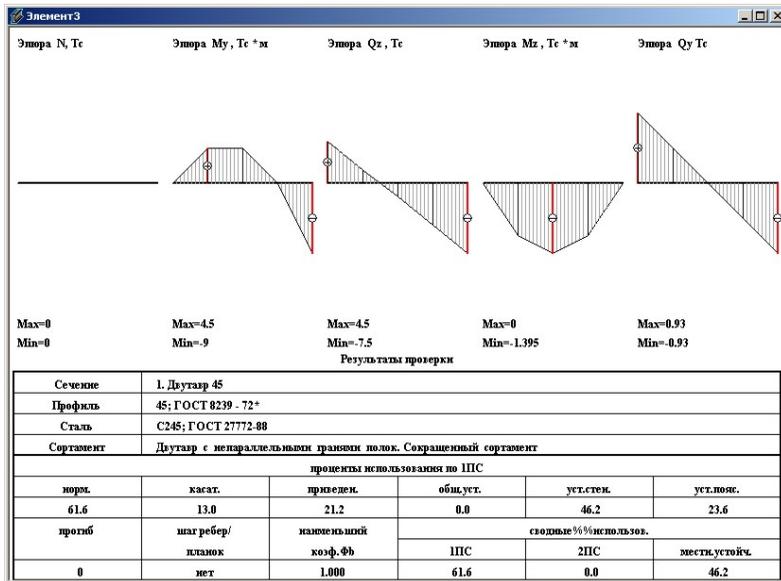


Рис.2.30. Результаты розрахунку

Результатом перевірки перерізу є відсотки використання по необхідних перевірках (див. рис.2.30 і розділ 1); результатом підбору є також і підбраний переріз.

Перевірка прогину здійснюється співставленням реально визначеного відносного прогину (L/f) з заданим в вихідних даних допустимим прогином.

У режимі локального розрахунку прогини розраховуються по огинаючим епюрам згинаючого моменту, тобто не по характеристичним, а по граничним навантаженням. В більшості випадків такий розрахунок дає більші, ніж насправді прогини, тобто «йде в запас».

- Результати розрахунку можна вивести на друк безпосередньо з програми за допомогою пункту меню **Файл** ⇨ **Печать** (кнопка ) або скопіювати за допомогою кнопки  в програми, що працюють з графічними об'єктами. Якщо ж спеціалізованих програм для роботи з графікою на комп'ютері немає, то для роботи з зображеннями можна скористатися вбудованими в **СТК-САПР** інструментами **Графический контейнер**, і

ДОКУМЕНТАТОР, які забезпечують необхідний мінімум функцій для редагування і друку графічних результатів розрахунку.

➤ При роботі в СТК-САПР з достатньо великими моделями, часто виникає необхідність в додатковому багатоваріантному опрацюванні якого-небудь елемента схеми, наприклад, колони або балки. При виконанні такої роботи зручно скористатися локальним режимом. Для переходу в локальний режим необхідно в СТК-САПР натиснути кнопку **Расчет элемента**  і вказати курсором безпосередньо на схемі елемент, або конструктивний елемент, розрахунок якого необхідно виконати в локальному режимі. Для вказаного елемента буде створене таке ж вікно, як для локального режиму розрахунку (див. рис. 2.30). В цьому випадку, на відміну від створення окремої задачі, комбінації навантажень відомі, і розрахунок прогинів вестиметься точніше, по характеристичним, а не по граничним навантаженням.

2.7. Розрахунок поясних з'єднань

Розрахунок поясних кутових швів головної балки виконуються за допомогою програми «Расчет сварных швов», що входить до складу програмного комплексу ЕСПРІ.

➤ Викличте програму **Расчет сварных швов**, з меню **Пуск** ⇒ **Электронный СПРавочник Инженера** ⇒ **ЕСПРІ** ⇒ **Сталь** (рис 2.51)

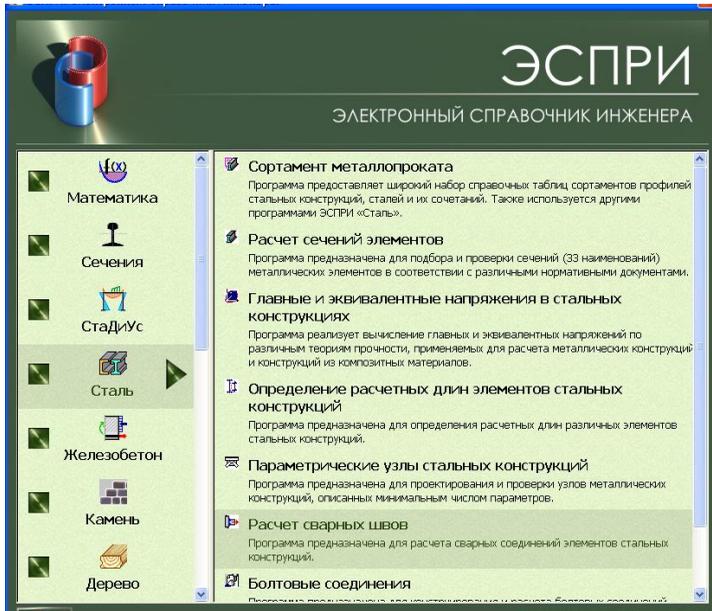


Рис.2.31. Електронний довідник інженера ЕСПРІ

Задання вихідних даних

- Після запуску програми на першій закладці **Тип соединения** виберіть в розділі **Выбор прототипа соединения**, підрозділі **Тип соединений: Тавровые Поясные**.
- У нижньому лівому вікні курсором миші виберіть необхідне з'єднання, яке для контролю промальовується у верхньому віконці. У даному прикладі, припускаючи відсутність локального напруження ($\sigma_{loc} = 0$ – зосереджені навантаження передаються на ребра жорсткості), вибираємо із списку перший тип (рис.2.32).
- У розділах **Условия эксплуатации** і **Характеристики сварного соединения** виберіть в списках, що розкриваються, або вказівкою радіо-кнопок всі необхідні дані відповідно до СНиП II-23-81* «Стальные конструкции»:
 - **Группа конструкций – 1;**
 - **Климатический район – П4;**

- **Класс ответственности объекта по ГОСТ 27751-88 – 2;**
- **Коэффициент условий работы $\gamma_c = 1,1$;**
- В розділі **Характеристики сварного соединения Вид сварки** – виберіть **Автоматическая проволокой d = 3-5 мм**
- **Положение шва – Нижнее.**

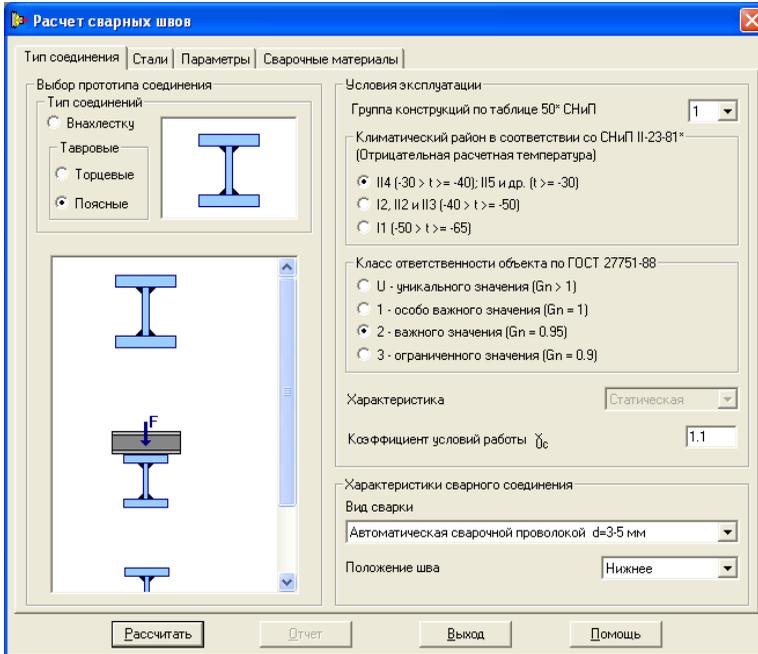


Рис.2.32. Діалогове вікно «Тип соединения»

- На другій закладці **Стали** (рис.2.33) залежно від заданих раніше **Условий експлуатації** в полі **Материал соединяемых элементов**, запропоновані класи або марки сталей для **Пояса** і **Стенки** (користувач самостійно вказує – з класами сталей він працюватиме або з марками, причому при безпосередній вказівці миші на клас сталі, у відповідному вікні відображаються відповідні цьому класу марки сталі і навпаки). Вкажіть для поясів і стінки клас сталі **C255**.

- Після вибору курсором миші класу або марки сталі для елемента зварного з'єднання необхідно натиснути кнопку **Назначить**.
- У правій частині вікна показані нормативні і розрахункові опори сталі, які при необхідності можна задати самостійно, встановивши прапорець **Разрешить задание вручную**.

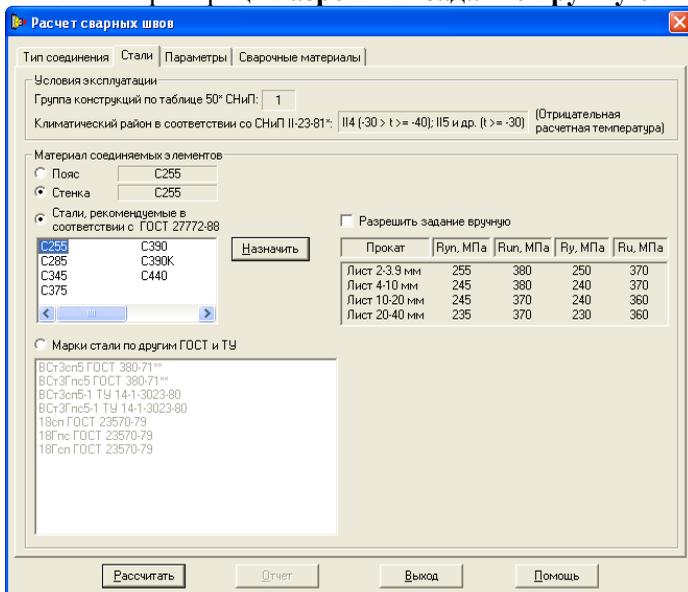


Рис.2.33. Диалогове вікно «Стали»

- На третій закладці **Параметры** (рис.2.34) в розділі **Элементы соединения** вкажіть розміри поперечного перерізу балки: $b_f \times t_f = 200 \times 20$ мм $h_w \times t_w = 1240 \times 12$ мм;
- У полі **Вид расчета** радіо-кнопкою вказується: **Проверка** або **Подбор**. Для поясних з'єднань передбачена тільки функція підбору;
- У полі **Усилия** вводимо максимальну поперечну силу $Q_{\max} = 726.96$ кН, виходячи з якої, визначається зсувне зусилля по формулі

$$T = \frac{Q_{\max} S_f}{J_x},$$

де Q_{\max} – максимальна поперечна сила, що виникає в перерізі балки; S_f – статичний момент поясу щодо нейтральної осі; J_x – момент інерції перерізу балки.

- Прапорець **Односторонний поясной шов** повинен бути відключений, якщо з'єднання поясів із стінкою виконується двостороннім поясним швом.
- На четвертій закладці **Сварочные материалы** в розділі **Материалы для сварки** вказані типи електродів (при ручній зварці) або марки зварювального дроту (при автоматичній або напівавтоматичній зварці), які регламентовані до застосування залежно від **Условий експлуатації**.
- Курсором в таблиці виберіть тип електроду або марку зварювального дроту. У даному прикладі зварку проводимо зварювальним дротом Св-08А з відповідними розрахунковими характеристиками і коефіцієнтами, вибраними відповідно до СНиП II-23-81* «Стальные конструкции». У лівому нижньому кутку натисніть кнопку **Рассчитать**.

Результати розрахунку

- Розрахунок виконується по металу шва і межі сплавлення [8]:

$$k_f = \frac{T}{2\beta_{f(z)} R_{f(z)} \gamma_{f(z)} \gamma_c}.$$

Результатом розрахунку є підібрані катети зварних швів з'єднань верхнього і нижнього поясів із стінкою, які будуть відображені на закладці **Параметры** (рис.2.33). За відсутності локального напруження ($\sigma_{loc} = 0$) для симетричних двотаврів верхній і нижній шов будуть завжди однакові.

- В даному прикладі отримані такі результати:

- Катет верхнього шва = 5 мм
- Катет нижнього шва = 5 мм

Натиснувши кнопку **Отчет**, отримуємо докладний звіт, який включає в себе таблиці з вхідними даними і результатами розрахунку (рис.2.36).

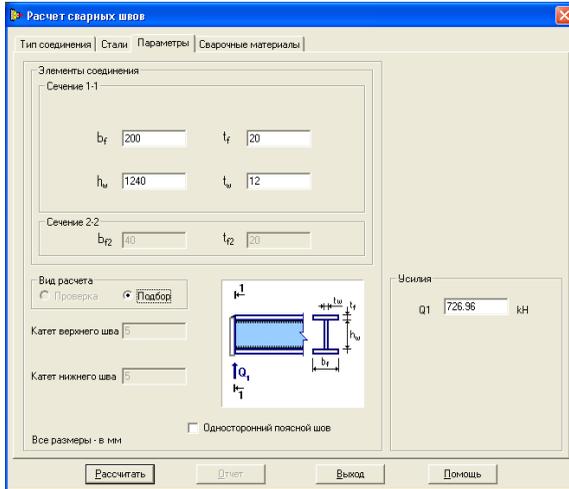


Рис.2.34. Диалоговое окно «Параметры»

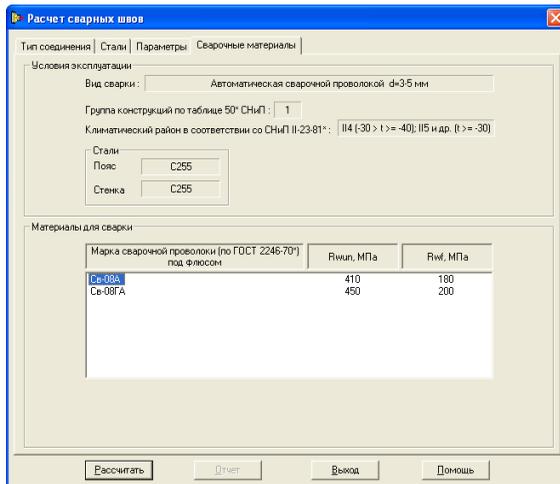


Рис.2.35. Диалоговое окно «Сварочные материалы»

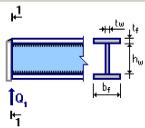
Исходные данные			
Тип соединения			
		Поясние	
Условия эксплуатации			
Группа конструкций по таблице 50* СНиП		1	
Климатический район в соответствии со СНиП II-23-81* (Отрицательная расчетная температура), °С		II4 ($-30 > t >= -40$), III5 и др. ($t >= -30$)	
Класс ответственности объекта по ГОСТ 27751-88		2 - важного значения ($G_n = 0.95$)	
Характеристика нагрузок		Статическая	
Коэффициент условий работы γ_c		1.1	
Элементы соединения			
		Сечение 1-1	Сечение 2-2
		b_p , мм	b_{p2} , мм
		t_f , мм	20
		h_{wp} , мм	t_{p2} , мм
		t_{wp} , мм	20
Параметры			
Катет верхнего шва, мм		Катет нижнего шва, мм	
5		5	
Усилия			
Q1, кН			
726			
Материал соединяемых элементов			
Пояс		Стенка	
Сталь	C255	Сталь	C255
R_{yH} , МПа	245	R_{yH} , МПа	245
R_{mH} , МПа	370	R_{mH} , МПа	370
R_{yT} , МПа	240	R_{yT} , МПа	240
R_{mT} , МПа	360	R_{mT} , МПа	360
Характеристики сварного соединения			
Вид сварки	Автоматическая сварочной проволокой $d=3-5$ мм		
Положение шва	Нижнее		
Материалы для сварки			
Марка сварочной проволоки (по ГОСТ 2246-70*) под флюсом	R_{wH} , МПа	R_{wT} , МПа	
Св-08А	410	180	
Результаты расчета			
Вид расчета		Полбор	
Катет верхнего шва, мм		5	
Катет нижнего шва, мм		5	

Рис.2.36. Докладний звіт

2.8. Компонування просторової схеми балкової клітки

2.8.1. Вихідні дані. Розрахункова схема балкової клітки.

Розрахункова схема балкової клітки показана на рис.2.37.

Перерізи елементів:

- крайні і середні колони – складений переріз;
- пояс – 300x10; стінка – **280x6**;
- балка настилу (БН) – двотавр № 22;
- головна балка (ГБ) – складений переріз змінного типу
- на опорах: пояс – 200x20; стінка – 1240x12.
- в середині прольоту: пояс – 340x20; стінка – 1240x12.

Навантаження:

- завантаження 1 – постійне навантаження від власної ваги елементів балкової клітки і конструкції настилу;
- завантаження 2 – тимчасове корисне навантаження.

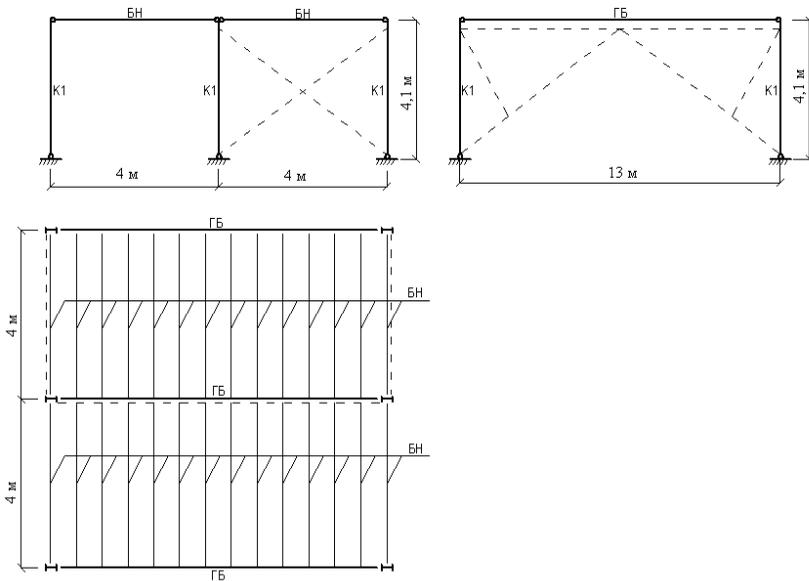


Рис.2.37. Розрахункова схема балкової клітки

2.9. Визначення зусиль і їх розрахункових сполучень

Створення нової задачі

Запустіть ПК ЛІРА-САПР.

Створіть нову задачу (рис.2.38).

- ім'я створюваної задачі – **БК**;

- ознака схеми – 5 (застосовується для розрахунку просторових схем [5]);

Після цього клацніть по кнопці .

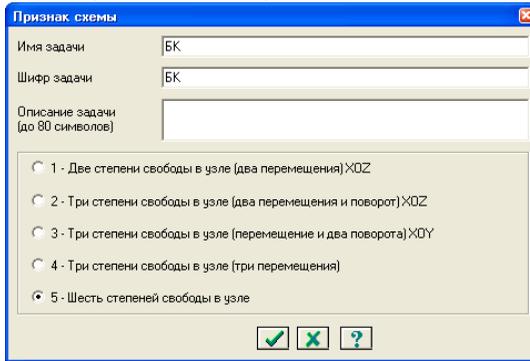


Рис.2.38. Діалогове вікно «Признак схеми.»

2.9.1. Створення геометричної схеми

Додавання рами

- З пункту меню **Схема** ⇒ **Создание** ⇒ **Пространственные рамы** відкрийте вікно **Пространственная рама**;

У таблицю введення значень введіть параметри рами:

Крок уздовж осі X:	Крок уздовж осі Y:	Крок уздовж осі Z:
L(m) N	L(m) N	L(m) N
1.00 2	4.00 2	4.1 1
0.40 1		
0.60 1		
1.00 7		
0.60 1		
0.40 1		
1.00 2		

- Зніміть, встановлену за умовчанням, відмітку **Создавать элементы пластин**;
- Відмініть накладення зв'язків по напрямку **UX** і **UY**;
- Решта параметрів приймається за умовчанням (рис.2.39).

Застосуйте введені дані (.

Збереження інформації про розрахункову схему

- Збережіть розрахункову схему (кнопка  на панелі інструментів);
- У діалоговому вікні **Сохранить** как задайте:
 - ім'я задачі – **БК**;
 - папку, в яку буде збережено ця задача (за умовчанням вибирається папка – **LDdata**);
- Клацніть по кнопці **Сохранить**.

Корегування схеми

- Клацанням по кнопці  перейдіть в режим проєкції на **XOZ**.
За допомогою команди **Выделение узлов** (кнопка  на панелі задач) відзначте і видаліть всі нижні вузли внутрішніх колон. Поверніться в режим ізометричної проєкції і упакуйте схему (кнопка  на панелі інструментів);

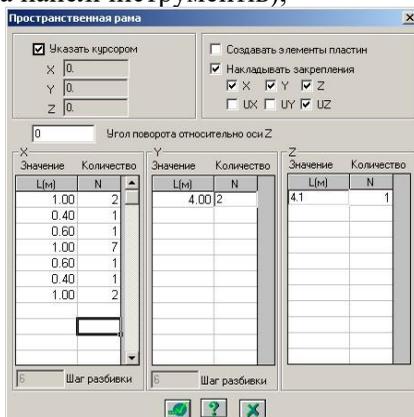


Рис.2.39. Діалогове вікно «Пространственная рама»

- За допомогою **ПолиФильтра** (кнопка  на панелі інструментів), як показано на рис.2.40 відмітьте всі елементи схеми паралельні осі **OY**.

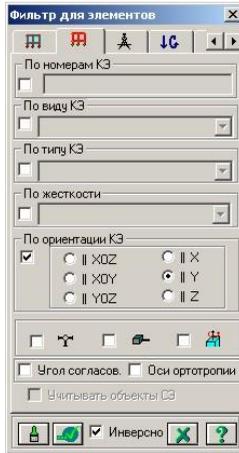


Рис.2.40. Диалогове вікно «Фильтр для элементов»

- У вікні **Шарниры** (кнопка  на панелі інструментів) відпустіть кут повороту виділених стержнів схеми в першому і другому вузлі по напрямку UY (рис.2.41).
- Виділіть елементи головних балок з лівої сторони балкової клітки, що є паралельними вісі X, і призначте їм шарнір по напрямку UY в першому вузлі.
- Виділіть елементи головних балок з правої сторони балкової клітки, що є паралельними вісі X, і призначте шарнір по напрямку UY в другому вузлі.

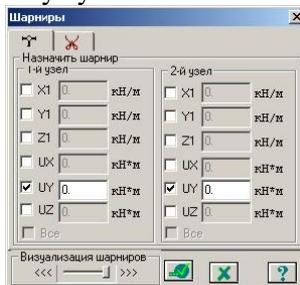


Рис.2.41. Диалогове вікно «Шарниры»

Додавання зв'язків жорсткості по колонах

Для додавання елементів зв'язків жорсткості виконайте наступні операції:

- Розбийте колони другої і третьої рами в співвідношенні 1/9. Для цього виділіть ці елементи і запустіть команду **Добавить элемент** (кнопка  на панелі інструментів).
- У діалоговому вікні **Добавить элемент** перейдіть на закладку **Разделить пропорционально N** (рис.2.42).

Закладка **«Разделить пропорционально»** дозволяє додати стержень поділом на дві частини - поділ зазначеного стержня на два інших відповідно до відстані L від першого зазначеного вузла, або по пропорції. Прапорець, встановлений поряд з полем вводу числа L , відкриває доступ до поля введення цього числа. Якщо ж цей прапорець не встановлено, то відкрито доступ до поля введення коефіцієнта пропорційності N , на підставі якого буде виконана ця команда.

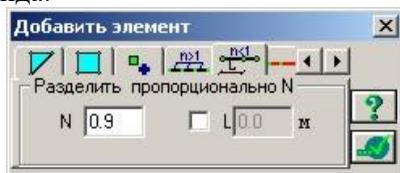
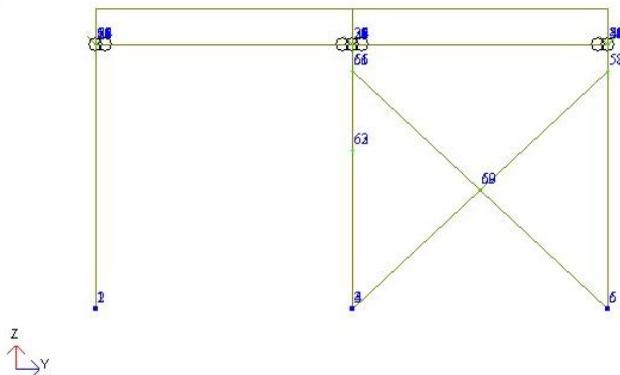


Рис.2.42. Діалогове вікно «Добавить элемент»

- Введіть значення $N=0.9$ і натисніть . Не закриваючи вікно **Добавить элемент**, виведіть на екран номери вузлів за допомогою вікна **Флаги рисования** (кнопка  на панелі інструментів). У вікні **Добавить элемент** перейдіть на першу закладку **Добавить стержень** і попарно з'єднайте стержнями пари вузлів таким чином, щоб вийшла конструкція показана на рис.2.43, а в проекції на вісь YOZ.

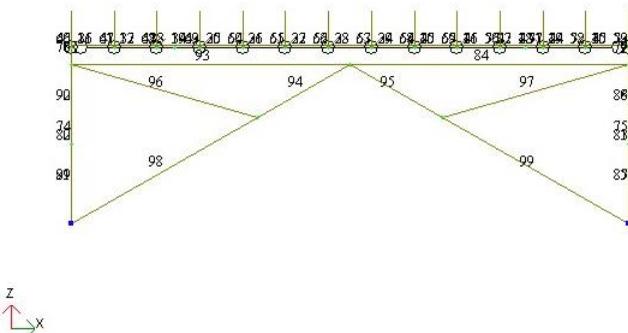
Знову перейдіть на першу закладку і з'єднайте попарно вузли таким чином, щоб вийшла конструкція, що показана на рис. 2.43, б в проекції на вісь XOZ, причому елементи № 94, № 98 та № 95, № 99 пропорційні в співвідношенні 2/3. Для цього у діалогове вікно (рис. 2.42) вводиться значення $N=0,66$.

Заруженне 1



а)

Заруженне 1



б)

Рис.3.43, а, б. Схема розташування зв'язків жорсткості по колонам в проекціях ZOY та XOZ

- Виділіть всі елементи зв'язків жорсткості по колонам, відкрийте вікно **Смена типа КЭ** через меню **Схема** ⇒ **Корректировка** ⇒ **Смена типа конечного элемента** (кнопку  на панелі інструментів) і задайте їм **4 тип КЭ – КЭ пространственной фермы**. Для стержнів, що не сприймають згинальні моменти,

доцільно використовувати скінченний елемент **Тип 4 (КЭ пространственной фермы)**, який має три ступеня свободи [5];

- Упакуйте схему (кнопка  на панелі інструментів).

2.9.2.Задання жорсткісних характеристик

- У вікні **Жесткости элементов** (кнопка  на панелі інструментів) за допомогою кнопки **Добавить** викличте **Базу металлических сечений** (рис.2.44);
- З **Базы металлических сечений** виберіть тип перерізу **Двутавр**;

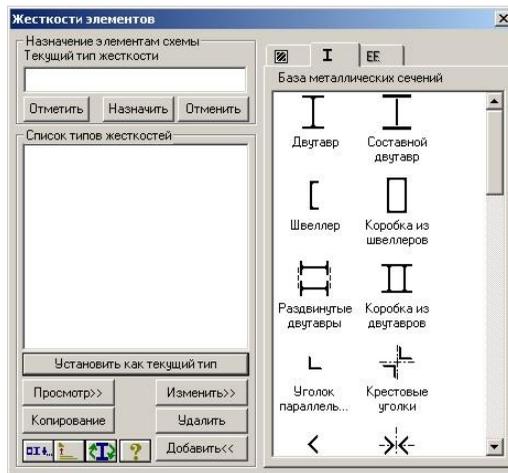


Рис.2.44. Діалогове вікно «Жесткости элементов»

- У вікні **Стальное сечение** (рис.2.45) задайте параметри перерізу **Двутавр**:
 - у списку сортamentів виберіть сортament – **Двутавр с непараллельными гранями полок. Сокращенный сортament**;
 - у списку – **Профиль – 22**.
- Підтвердіть введення клацанням по кнопці **ОК**;
- Виберіть тип перерізу **Составной двутавр**;
- У вікні **Составной двутавр** задайте параметри перерізу для поясу **Лист 200 x 20**, заздалегідь вибравши файл сортamentу

**Прокат листовой горячекатаный толщиной 2.5...25 мм.
Сокращенный сортамент (рис.2.46);**

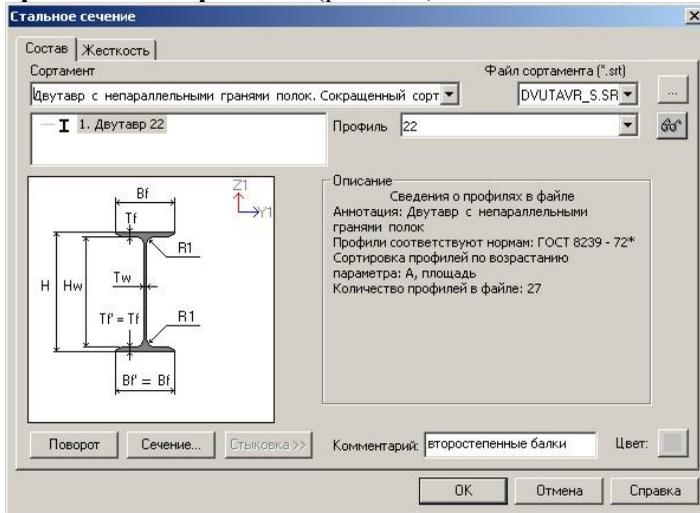


Рис.2.45. Диалоговое окно «Стальное сечение»

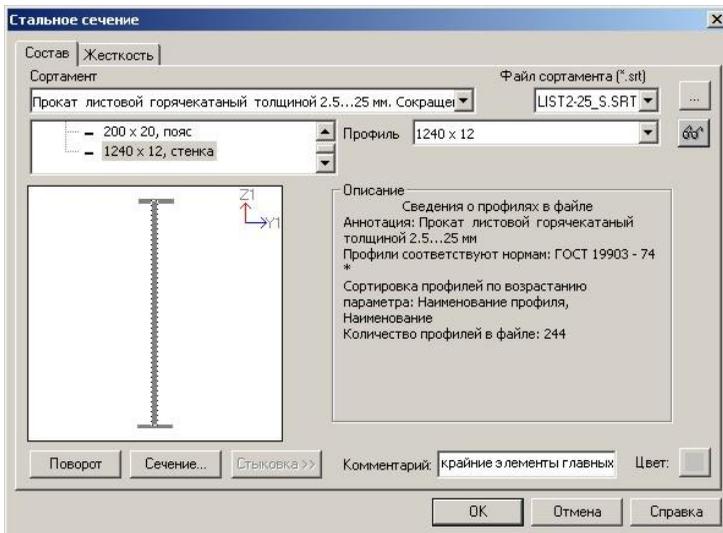


Рис.2.46. Диалоговое окно «Стальное сечение»

- Для стінки із списку профілів сортаменту **Прокат листовой горячекатаный толщиной 2.5...25 мм. Сокращенный сортамент** вибираємо **Лист 1240 x 12**.
- Підтвердіть введення клацанням по кнопці **ОК**.
- Повторно виберіть тип перерізу **Составной двутавр**.
- У вікні **Составной двутавр** задайте параметри перерізу для поясу **Лист 340 x 20**, заздалегідь вибравши файл сортаменту **Прокат листовой горячекатаный толщиной 2.5...25 мм. Сокращенный сортамент**.
- Для стінки із списку профілів сортаменту **Прокат листовой горячекатаный толщиной 2.5...25 мм. Сокращенный сортамент** вибираємо **Лист 1240 x 12**;
- Повторно виберіть тип перерізу **Составной двутавр**;
- У вікні **Стальное сечение** задайте параметри перерізу для поясу **Лист 300 x 10**, заздалегідь вибравши файл сортаменту **Прокат листовой горячекатаный толщиной 2.5...25 мм. Сокращенный сортамент**.
- Для стінки із списку профілів сортаменту **Прокат листовой горячекатаный толщиной 2.5...25 мм. Сокращенный сортамент** вибираємо **Лист 280 x 6**.
- Підтвердите введення клацанням по кнопці **ОК**.
- З **Базы типовых сечений** виберіть тип перерізу **Два уголка**.
- У вікні **Стальное сечение** в списку сортаментів виберіть сортамент – **Уголок равнополочный. Сокращенный сортамент**. У списку – **Профиль – 75 x 75 x 6**;
- Підтвердите введення клацанням по кнопці **ОК**.

Таким чином ми отримали види жорсткості, що представлені на рис.2.47.

- Перед тим, як призначити жорсткості, проставимо будівельні вісі. Для цього потрібно викликати пункт меню **Схема** ⇒ **Строительные оси и отметки**. Установка будівельних осей допускається тільки на ізометричному зображенні схеми і на її горизонтальній проекції (пл. ХоУ). В діалоговому вікні **Строительные оси** встановіть прапорці в полях **Указать узлы** і **Показывать оси**. Потім встановіть маркування і за допомогою курсору з'єднайте вузли по напрямленням осей X та Y.

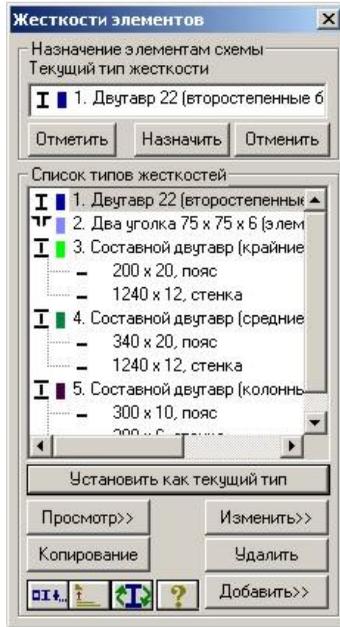


Рис.2.47. Диалогове вікно «Жесткости элементов»

Призначення жорсткостей

- У списку типів жорсткостей виділіть тип жорсткості **1. Двутавр 22** і натисніть **Установить как текущий тип**. За допомогою поліфільтру (кнопка  на панелі інструментів) виділіть всі елементи паралельні осі OY і призначте ним поточний тип жорсткості. Виділіть крайні елементи головних балок (на рис.2.48 це елементи під № 1, 2, 3, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 43, 44, 45) і призначте їм тип жорсткості **3. Составной двутавр** (Складена балка). Виділіть середні елементи головних балок (що залишились) і призначте їм тип жорсткості **4. Составной двутавр** (Складена балка). Аналогічно всім елементам паралельним осі OZ призначте тип **5. Составной двутавр** (Колона).
- Виберіть елементи, що моделюють зв'язки по колонах і призначте їм тип **2. Два уголка 75x75x6**.

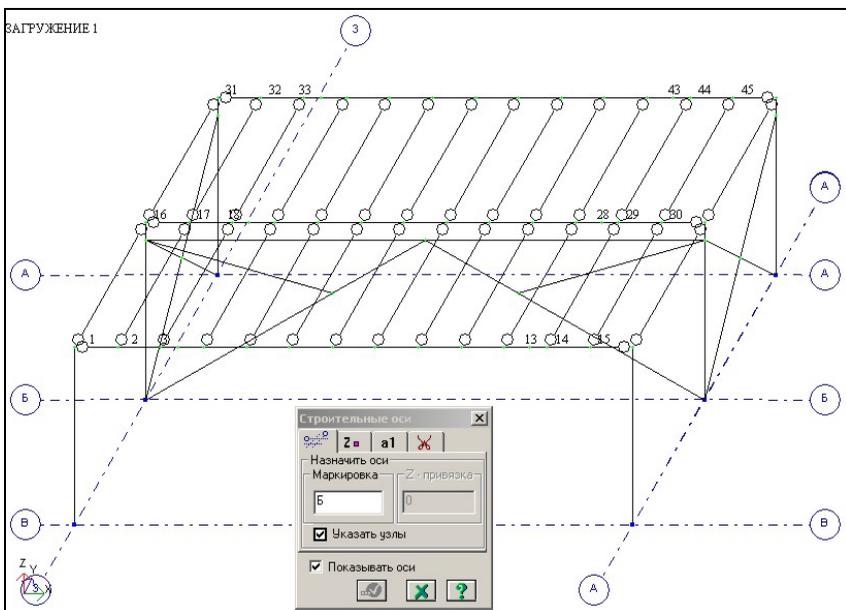


Рис.2.48. Схема для призначення типів жорсткості

2.9.3.Задання навантажень

- За допомогою інструменту **Полифилтр** (кнопка  на панелі інструментів) виділіть всі елементи паралельні осі OY (другорядні балки).
- У вікні **Задание нагрузок (Нагрузки ⇔ Нагрузка на узлы и элементы)**, перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни**.
- Залиште за умовчанням включеними радіо-кнопку системи координат **Глобальная**, і напрям – уздовж осі **Z**.
- Клацанням по кнопці рівномірно розподіленого навантаження перейдіть до вікна **Параметры**.
- У цьому вікні задайте інтенсивність постійного навантаження від настилу і елементів балкової клітки $p = 30.29 \text{ кН/м}$ (рис.2.49). Решту всіх параметрів залиште за умовчанням. Клацніть по кнопці .



Рис.2.49. Діалогове вікно «Параметры»

2.9.4. Генерація таблиці розрахункових сполучень зусиль

Для обліку можливості уніфікації елементів балкової клітки і колон необхідно створити таблицю розрахункових сполучень зусиль (у програмі російською РСУ) (див. розділ 1).

У даному прикладі розглядається створення таблиці розрахункових сполучень зусиль, що складається тільки з одного завантаження. Тому, якщо не виконувати подальшу уніфікацію в програмі СТК-САПР, створення такої таблиці не обов'язково.

- Викличте вікно **Расчетные сочетания усилий** за допомогою пункту меню **Нагрузки** ⇒ **РСУ** ⇒ **Генерация таблицы РСУ** (рис.2.50);
- У цьому вікні задайте наступні дані:
 - виберіть будівельні норми: ДБН В.1.2-2-2006 (або СНиП 2.01.07-85);
 - для **Завантаження 1** виберіть в списку **Вид загрузения** – **Постоянное** (0) і клацніть по кнопці (у рядку **Номер загрузения** номер автоматично встановився на **2**);
- Закрийте діалогове вікно клацанням по кнопці .

Задання розрахункових перерізів балок

Виділіть на схемі всі елементи паралельні осі ОУ.

- За допомогою меню **Схема** ⇒ **Расчетные сечения стержней** (кнопка  на панелі інструментів) викличте діалогове вікно **Расчетные сечения** (рис.2.51);

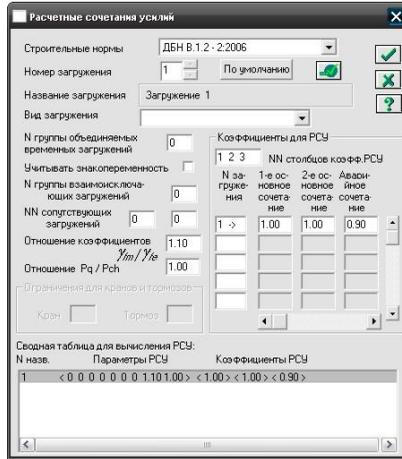


Рис.2.50. Діалогове вікно «Расчетные сочетания усилий»

- У діалоговому вікні, що з'явилося, задайте кількість розрахункових перерізів $N = 5$. (щоб виконати конструювання згинального елемента, потрібно обчислити зусилля в трьох або більш перерізах).

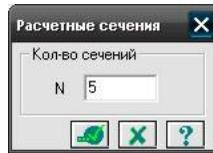


Рис.2.51. Діалогове вікно «Расчетные сечения»

Статичний розрахунок

- Запустіть задачу на розрахунок за допомогою меню **Режим** ⇨ **Выполнить расчет** (кнопка  на панелі інструментів).

2.10. Підбір або перевірки перерізів конструктивних елементів

Експорт даних про розрахункову схему в систему конструювання СТК-САПР

- Після розрахунку задачі, перейдіть в режим результатів розрахунку (кнопка  на панелі інструментів);

- Експорт розрахункової схеми виконується за допомогою меню **Окно** ⇒ **СТК-САПР** (кнопка  на панелі інструментів).

Задання додаткових характеристик для елементів другорядних балок

- Відкрийте список жорсткостей (кнопка  на панелі інструментів).
- У вікні **Жесткости элементов**, що відкрилося, в списку типів жорсткостей виділіть рядок **1. Двутавр 22** і клацніть по кнопці **Изменить**.
- У вікні **Стальное сечение** (рис.2.52) в списку, що розкривається, **Сталь** задайте марку **C245**.

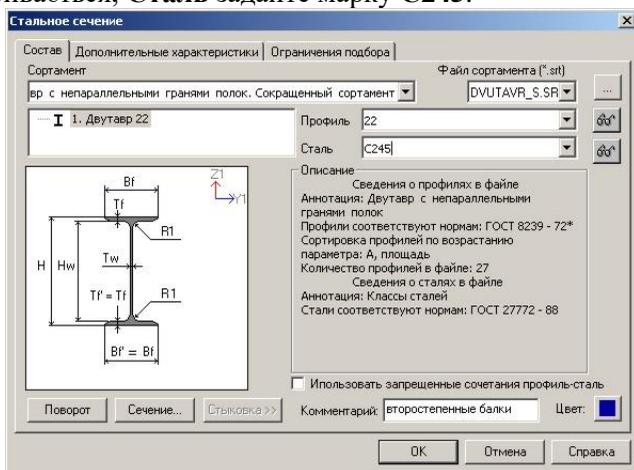


Рис.2.52. Діалогове вікно «Стальное сечение»

- Після цього клацніть по закладці **Дополнительные характеристики** і активізуйте радіо-кнопку **Балка**.
- У діалоговому меню **Стальные сечения** задайте наступні характеристики:
 - задайте значення **Lef = 0**, оскільки згідно п.5.16,а СНіП II-23-81* не потрібна перевірка загальної стійкості, оскільки балки розкріплюють по всій довжині настилом;

- задайте параметр для розрахунку по максимально допустимому прогину – **200**;
- задайте коефіцієнт роботи по міцності γ_c – **1.1**, відповідно до табл.6 СНіП II-23-81*;
- вкажіть, що розрахунок проводиться з урахуванням пластичності;
- в полі **Расчет по прогибу** введіть значення **8** – загальну довжину другорядних балок.

 Можна використовувати два способи конструювання балки при розрахунку на прогин. У першому варіанті враховується загальна довжина балки (8м) і розкріплення в такому разі не задаються. У другому варіанті задається довжина балки 4м, але потрібно задати розкріплення на кінцях скінченних елементів.

➤ Для введення даних клацніть по кнопці **ОК**.

Задання додаткових характеристик для елементів головної балки

- У вікні в списку типів жорсткостей виділіть рядок **3. Составной двутавр**.
- Клацніть по кнопці **Изменить** і перейдіть до діалогового вікна **Стальное сечение**.
- У списку, що розкривається, **Сталь** задайте марку сталі як у поясу;
- Далі одиночним натисненням активуйте рядок **200 x 20, пояс** і в списку, що розкривається, – **Сталь** задайте марку сталі – **C245**.
- Далі активуйте рядок **1240 x 12, стенка** і задайте марку сталі – **C245**.
- Перейдіть на другу закладку **Дополнительные характеристики** і активізуйте радіо-кнопку **Балка**.
- Діалогове меню **Стальные сечения** прийме вигляд, представлений на рис.2.53, в якому задайте наступні характеристики:
 - для розрахунку загальної стійкості задайте значення $L_{ef} = 1$ м, оскільки головна балка з площини розкріплена балками настилу з кроком 1м;

- задайте коэффициент работы по прочности γ_c – **1.1**, відповідно до табл.6 СНіП II-23-81*;
 - для розрахунку загальної стійкості задайте розкріплення стисненого поясу, встановивши прапорець **более, делят пролет на равные части**;
 - задайте параметр для розрахунку по максимально допустимому прогину – **250**.
 - в полі **Расчет по прогибу** введіть значення **13** – загальну довжину головної балки.
- У вікні **Состав сечения** клацніть мишкою на рядок **200 x 20, пояс** і встановіть прапорець напроти пункту **Ребра жесткости**, в полі введення задайте **2** м. Для введення даних клацніть по кнопці **ОК**.

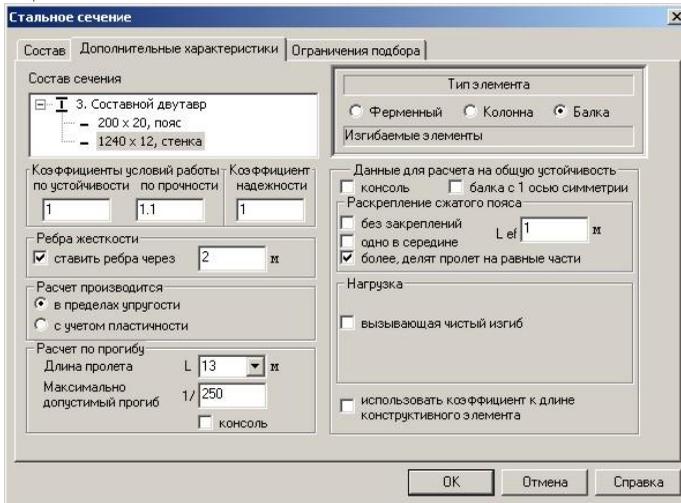


Рис.2.53. Задання додаткових характеристик для балок

- Аналогічно задайте додаткові характеристики для перерізу **4. Составной двутавр**.

Задання додаткових характеристик для елементів колон

- У списку типів жорсткостей виділіть рядок **5. Составной двутавр** і клацніть по кнопці **Изменить**. У списку, що розкривається, – **Сталь** задайте марку сталі як у пояса. Далі

одиначним натисненням активуйте рядок 300 x 10, пояс і в списку, що розкривається, – **Сталь** задайте марку сталі – **C245**. Далі активуйте рядок 280 x 6, стенка і задайте марку сталі – **C245**.

➤ Після цього клацніть по закладці **Дополнительные характеристики** (рис.2.54) і активізуйте радіо-кнопку **Колона**. Потім задайте наступні характеристики:

- Розрахункову довжину відносно осі Z1 = **4.1м**;
- Розрахункову довжину відносно осі Y1 = **4.1м**;
- Коефіцієнт роботи по міцності γ_c – **1.0**, згідно табл.6 СНіП II-23-81*;
- Розрахункова довжина для розрахунку $\varphi_b = 0$, оскільки колона центрально-стиснута (пояснення див. в розділі 1);

➤ Для введення даних клацніть по кнопці **ОК**.

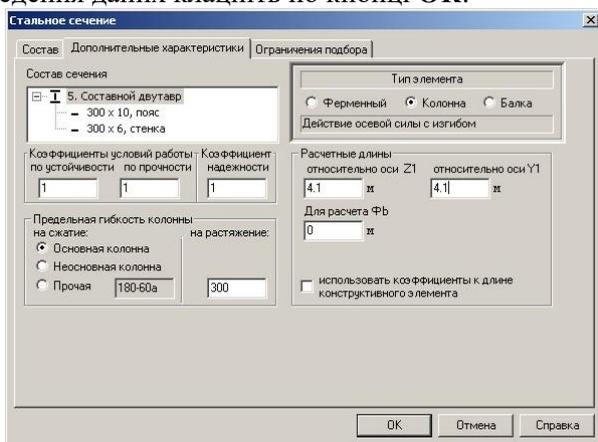


Рис.2.54. Задання додаткових характеристик для колон

Оскільки переріз зв'язків був заданий з умови забезпечення вимог по граничній гнучкості, призначення додаткових характеристик типу жорсткості 2 уголка 75x75x6 не виконуємо. При необхідності розрахунку перерізу елементів зв'язків необхідно проводити додаткові розрахунки, які враховують, або не враховують можливість роботи зв'язків на стиснення, а також вимагають збору і прикладення горизонтальних навантажень, які і сприймаються зв'язками.

2.10.1. Призначення конструктивних елементів

 Скінченні елементи, об'єднані в конструктивний, при конструюванні розглядаються як єдине ціле. Між елементами, що входять в конструктивний елемент, не повинно бути розривів, вони повинні мати один тип жорсткості, не повинні входити в інші конструктивні елементи і уніфіковані групи, а також мати загальні вузли і лежати на одній прямій.

Створення конструктивного елемента КОЛОНА

Позначте всі вертикальні елементи.

- Для створення конструктивних елементів виконайте пункт меню **Редактировать** ⇒ **Создать конструктивные элементы** (кнопка  на панелі інструментів). Погодьтеся з попередженням програми і зніміть відмітку з елементів, що залишилися.

Створення конструктивного елемента БАЛКА

- За допомогою інструмента **Полифильтр** виділіть всі елементи, що паралельні осі OX (кнопка  на панелі інструментів). Створіть конструктивний елемент за допомогою команди **Создать конструктивные элементы** (кнопка  на панелі інструментів).

Створення уніфікованих груп елементів

Уніфікація конструктивних елементів

- За допомогою інструмента **Полифильтр** (рис.2.55) виділіть конструктивні елементи балки К65, К66 і К67;
- За допомогою команди **Унифицировать конструктивные элементы** (кнопка  на панелі задач) створіть нову групу уніфікації конструктивних елементів №1 (рис.2.56). За допомогою інструмента **Полифильтр** виділіть конструктивні елементи колон КК1, КК2, КК3 і КК4.

Створіть для них ще одну групу уніфікації конструктивних елементів №2.

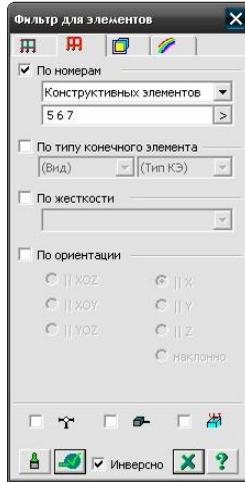


Рис.2.55. Диалоговое окно «Фильтр для элементов»

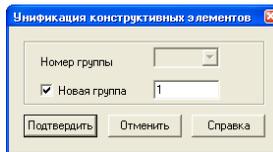


Рис.2.56. Диалоговое окно «Унификация конструктивных элементов»

2.10.2. Уніфікація скінчених елементів

➤ За допомогою інструмента **Полифильтр** виділіть всі елементи, що паралельні осі OY і за допомогою команди **Унифицировать элементы** (кнопка  на панелі задач) створіть нову групу уніфікації елементів №1 (рис.2.57):

- Тип уніфікації: **Элементы по соответствующим сечениям;**

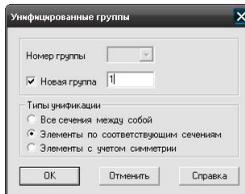


Рис.2.57. Диалоговое окно «Унифицированные группы»

Виділіть всі елементи колон і створіть для них ще одну групу уніфікації елементів №2.

2.10.3.Задання розкріплення для розрахунку прогинів

- За допомогою інструмента **Полифальтр** виділіть елементи другорядних балок. Відкрийте вікно **Раскрепления стержней** (рис.2.58), використовуючи команду **Раскрепления для прогибов** (кнопка  на панелі інструментів);
- Задайте їм розкріплення у напрямі осі Z1, вибравши в списку типів розкріплень пункт **На концах конструктивного или конечного элемента**, а також зніміть прапорець з напрямку Y1 (прогини в горизонтальному напрямі в даному прикладі не перевіряємо, оскільки відсутнє горизонтальне навантаження);

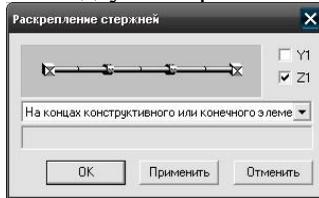


Рис.2.58. Діалогове вікно «Раскрепление стержней»

2.10.4. Перевірка призначених перерізів

- Для виконання перевірки призначених перерізів натисніть **Расчет** (кнопка  на панелі інструментів) (рис.2.59). При необхідності можна також виконати і підбір перерізів;

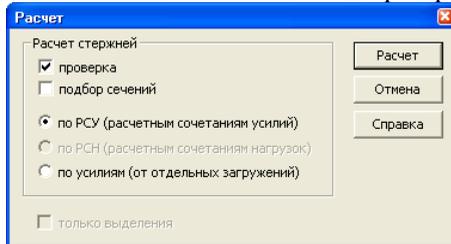


Рис.2.59. Діалогове вікно «Расчет»

- У діалоговому вікні, що з'явилося, зніміть прапорець з кнопки **подбор сечений** і активуйте радіо-кнопку **по РСУ**

(розрахунковим сполученням зусиль). Натисніть кнопку **Расчет**.

Відображення результатів перевірки призначених перерізів

- Для відображення мозаїки результатів перевірки призначених перерізів стержнів по першому граничному стану вибираємо пункт меню **Результаты** ⇒ **Мозаики** ⇒ **Проверка 1ПС** (або послідовне натиснення кнопок  і  на панелі інструментів);

В результаті виконаних операцій отримаємо схему як на рис.2.60.

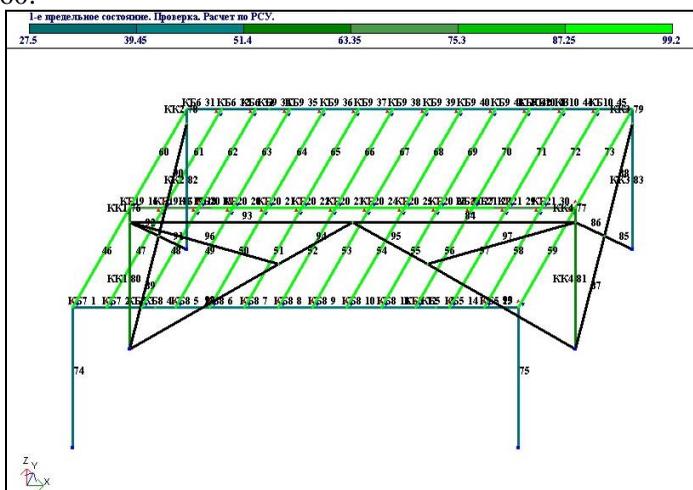


Рис.2.60. Мозаїка перевірки призначених перерізів по першому граничному стану

- Мозаїка результатів перевірки призначених перерізів стержнів по другому граничному стану виводиться на екран за допомогою пункту меню **Результаты** ⇒ **Мозаики** ⇒ **Проверка 2ПС** (рис.2.61).
- Аналогічно відобразимо на екран мозаїку результатів перевірки призначених перерізів стержнів по місцевій стійкості (рис.2.62).

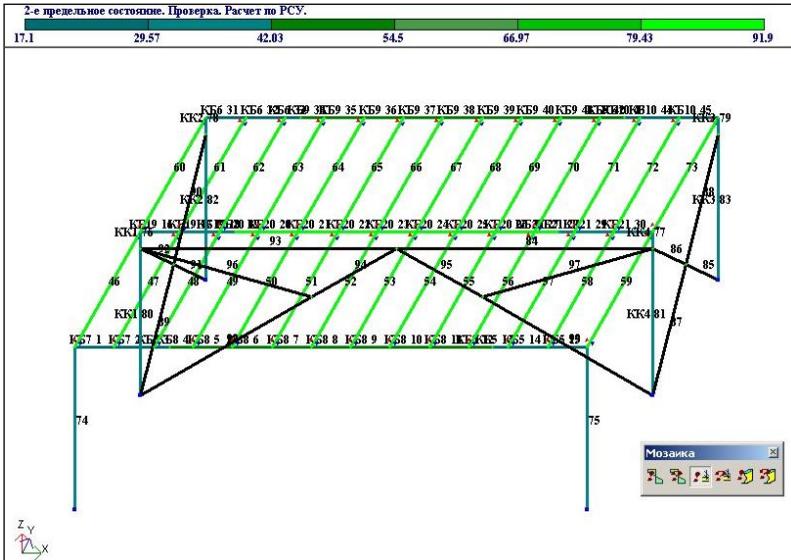


Рис.2.61. Мозаика проверки назначенных перерезів по другому граничному стану

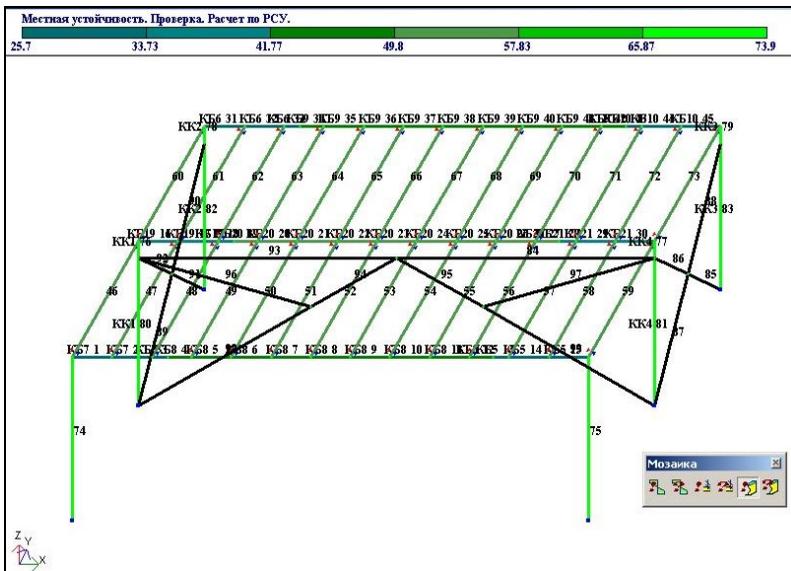


Рис.2.62. Мозаика проверки назначенных перерезів по місцевій стійкості

2.11. Розрахунок і конструювання вузла сполучення балок

2.11.1. Розрахунок простого вузла



Простим – називається вузол, який в повній мірі забезпечує передачу зусиль з одного елемента на інший. Цей вузол дозволяє виконати підбір або перевірку параметрів вузла, з наглядним відображенням результату у вигляді проценту використання кожного з параметрів по міцності або іншому розрахунковому критерію.

Складним – називається вузол, який складається з декількох простих вузлів.

- Виведіть на схемі нумерацію вузлів і елементів;
- Для створення вузла необхідно виконати пункт меню **Результаты** ⇒ **Расчитать узел**;
- В діалоговому вікні **Выбор типа узла** (рис.2.63) необхідно вказати пункт **Соединения балок** ⇒ **Сопряжение балок** ⇒ **Сечение балок двутавровое** і подвійним клацанням вибрати вузол сполучення балок **Пластинка уголок**;

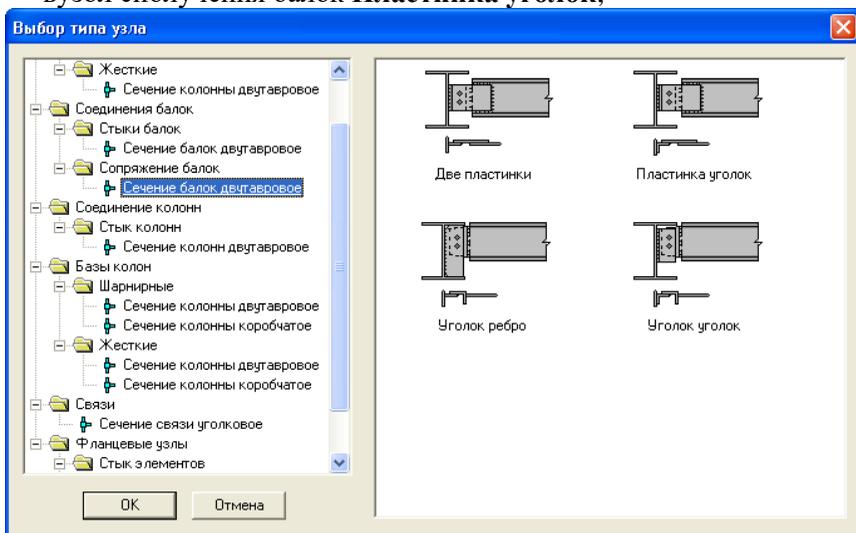


Рис.2.63. Діалогове вікно «Выбор типа узла»

- Подвійним клацанням на піктограмі вузла, викличте діалогове вікно Назначение элементов узла (рис.2.64), в діалоговому вікні введіть наступні номери елементів:
 - Балка1 №= 24, що відповідає головній балці;
 - Балка2 №= 53, що відповідає другорядній балці;
 - Включіть радіо-кнопку **Использовать заданное поперечное сечение**.
- Підтвердіть введені значення клацнувши **ОК**;

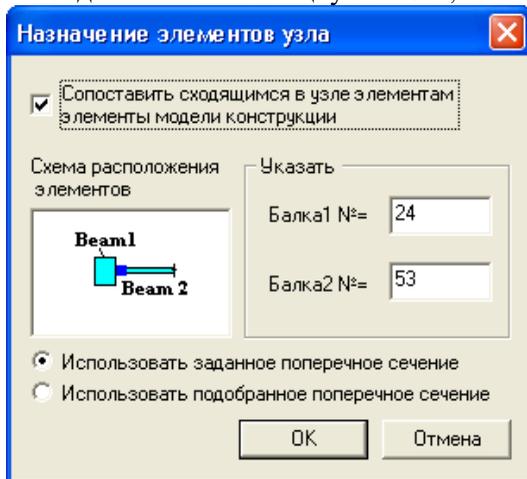


Рис.2.64. Діалогове вікно «Назначение элементов узла»

Далі відкриється локальний режим розрахунку вузла. В локальному режимі розрахунку вузла потрібно задати додаткові характеристики елементам вузла.

- Клацніть на кнопці **Характеристики** (кнопка  на панелі задач) відкриється діалогове вікно **Общее** (рис.2.65).
- В розділі **Коэффициенты**, задайте коефіцієнт $\gamma_s=1.1$;
- В діалозі **Наименование группы элементов** вузла вкажіть рядок **Швы**;
- Далі клацнувши по кнопці **Выбрать свойства группы...** відкрийте діалогове вікно **Свойства: Сварной шов** (рис.2.66);

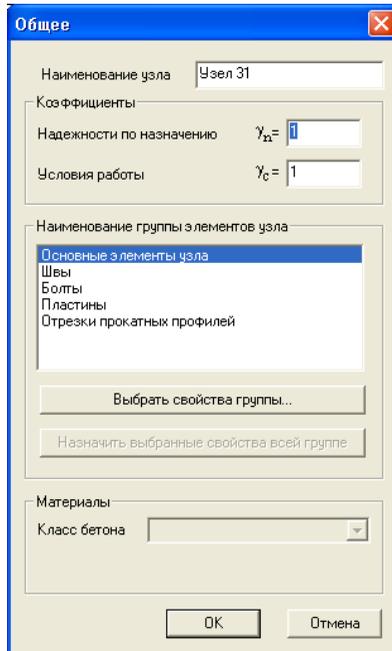


Рис.2.65. Диалоговое окно «Общее»

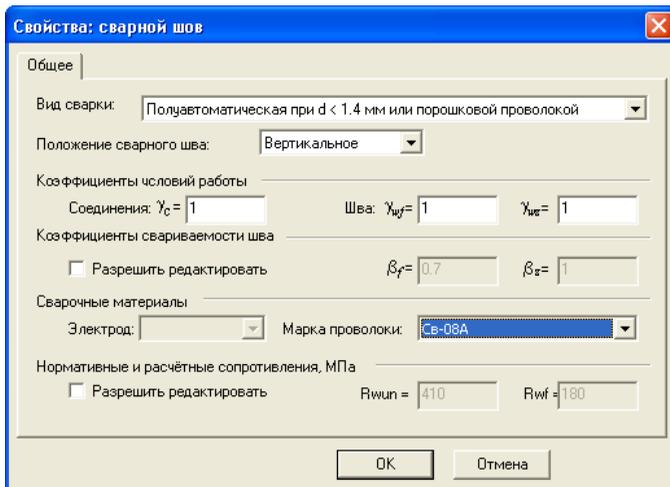


Рис.2.66. Диалоговое окно «Свойства: сварной шов»

В цьому діалоговому вікні введіть наступні параметри:

- Вид зварювання: **Полуавтоматическая** при $d < 1.4 \text{ мм}$ или порошковой проволокой;
 - Положення зварного шва: **Вертикальное**;
 - Марка дроту: **Св-08А**;
 - Решта параметрів початкові, які задані за умовчанням.
- Підтвердіть введення, клацнувши кнопку **ОК**.
- Надайте вибрані властивості всім швам даного вузла клацнувши кнопку **Назначить выбранные свойства всей группе**
- В діалоговому вікні **Наименование группы элементов узла** вкажіть рядок **Болты**;
- Клацнувши на кнопці **Выбрать свойства группы...** відкрийте діалогове вікно **Свойства: Болты** (рис.2.67);

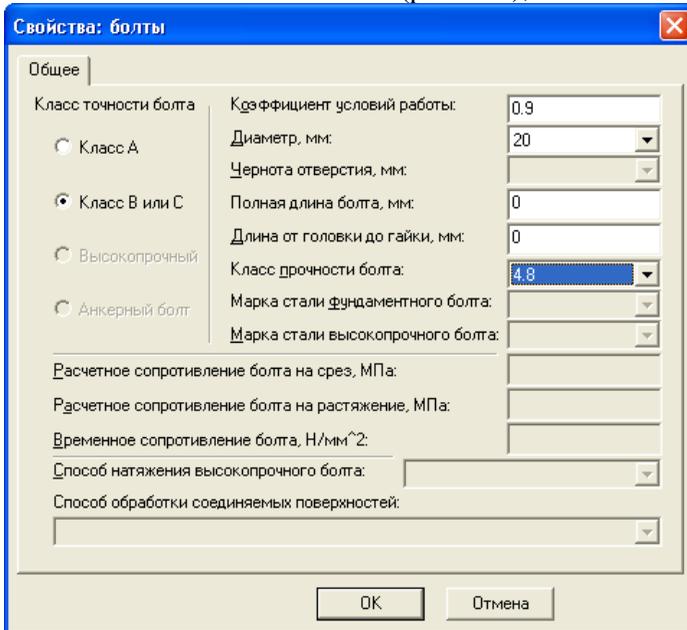


Рис.2.67. Діалогове вікно «Свойства: болты»

В цьому вікні задаємо наступні параметри:

- Коефіцієнт умов роботи : $\gamma_c = 0.9$;
- Діаметр = **20 мм**;
- Клас міцності болта: **4.8**;

Решта параметрів залишаються без змін.

- Підтвердіть введені значення натиснувши кнопку **ОК**.
- Надайте вибрані властивості всім болтам даного вузла клацнувши кнопку **Назначить выбранные свойства всей группе**
- В діалоговому вікні **Наименование группы элементов узла** вкажіть рядок **Пластины**;
- Далі, натиснувши кнопку, **Выбрать свойства группы...** відкрийте діалогове вікно **Свойства пластины** (рис.2.68);
В цьому вікні введіть наступні параметри:
 - В розділі **Матеріали** встановіть радіо-кнопку **Класс стали**;
 - Задайте клас сталі: **C255**;

Решта параметрів залишаються без змін.

- Підтвердіть введені значення параметрів натиснувши кнопку **ОК**.
- Надайте вибрані властивості всім болтам даного вузла клацнувши кнопку **Назначить выбранные свойства всей группе**.

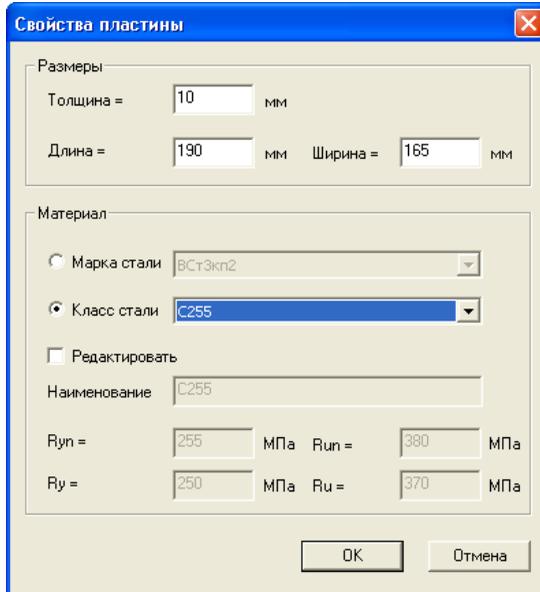


Рис.2.68. Діалогове вікно «Свойства пластины»

- Натиснувши кнопку **ОК** закрийте вікно **Общее**.
- Відкрийте діалогове вікно **Параметры узла** (кнопка  на панелі задач).
- В цьому вікні (рис.2.69) в діалозі **Параметры** задайте наступні дані:
 - Количество: Болты = 3;
 - Количество верт. рядов : Болты = 1;
 - Катет : Шов Ш1 = 0.8 см;
 - Катет : Шов Ш2 = 0.6 см;
 - Размер В : Пластина 1 = 16.5 см;
 - Размер Н : Пластина 1 = 20 см;
 - Длина : Уголок = 27 см;

Решта параметрів залишаються без змін.

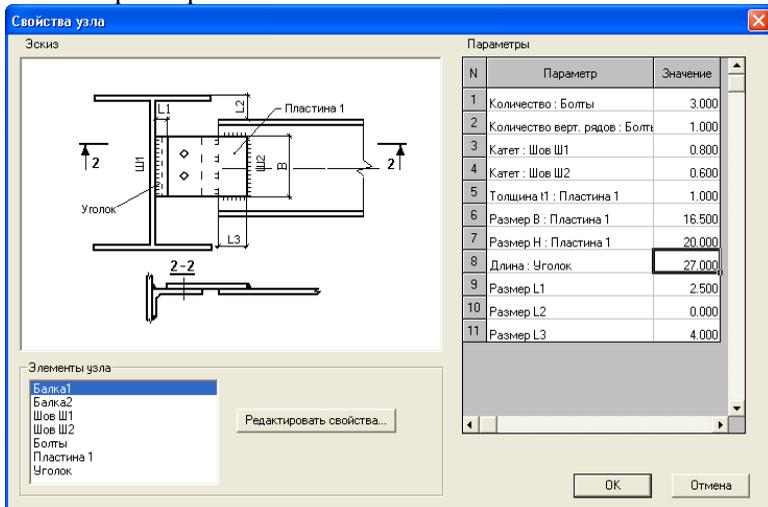


Рис.2.69. Диалоговое окно «Свойства узла»

- Натиснувши кнопку **ОК**, закрийте вікно **Параметры узла**.
- В локальному режимі конструювання вузла виконайте перевірку заданих характеристик за допомогою кнопки **Проверка параметров узла** (кнопка  на панелі інструментів).

- Відкрийте **Трассировку расчета** (кнопка  на панелі задач) і подивіться процент використання несучої здатності розрахункових елементів вузла (дивись рис.2.70).

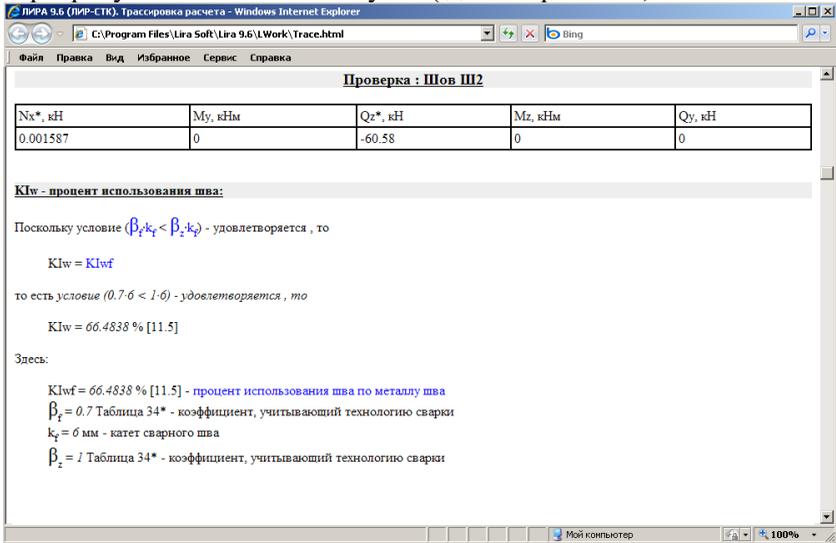


Рис.2.70. Вікно «Приклад трасування»

Якщо процент використання деяких елементів здається дещо замалим або, скажемо, неочікуваним, то виконайте підбір елементів вузла, щоб подивитись які параметри пропонує програма автоматично.

- За допомогою команди **Сохранить** збережіть розрахункові дані вузла;
- В вікні **Сохранить как** задайте ім'я задачі – **Узел 30-56**;
- Закрийте локальний режим конструювання вузла (**Файл** ⇒ **Закреть**).

2.11.2. Конструювання складного вузла

- Для створення і розрахунку складного вузла в програмі СТК-САПР за допомогою пункту меню **Результаты** ⇒ **Составной узел** відкрийте вікно **Составные узлы** (рис.2.71).

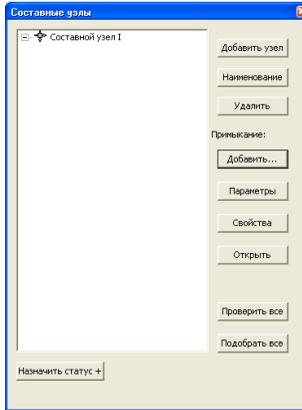


Рис.2.71. Диалогове вікно «Составные узлы»

- Натисніть кнопку **Добавить узел**. При цьому в списку складних вузлів з'явиться рядок **Составной узел I**;
- Далі натиснувши кнопку **Добавить...** додаємо перший вузол.
- В вікні **Выбор типа узла** (рис.2.72) вкажіть пункт **Соединение балок** ⇒ **Сопряжение балок** ⇒ **Сечение балки двугавровое** і подвійним клацанням вибираємо вузол сполучення балок **Пластина уголок**;

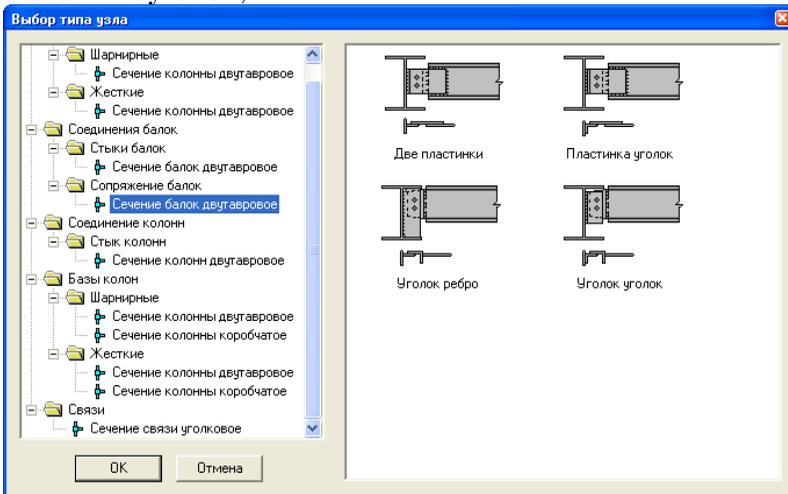


Рис.2.72. Диалогове вікно «Выбор типа узла»

➤ У діалоговому вікні **Назначение элементов узла** введіть параметри:

- **Балка1 №= 24** – головна балка;
- **Балка2 №= 53** – другорядна балка;
- Увімкніть радіо-кнопку **Использовать заданное поперечное сечение**.

Задані в діалоговому вікні номери 24 и 53 відповідають номерам скінченних елементів(СЕ), які утворюють сполучення другорядної балки з головною. При цьому всі розрахункові сполучення зусиль (в програмі РСУ) в відповідних перерізах СЕ будуть автоматично передані, як початкові дані, для подальшого розрахунку вузла.

➤ У вікні **Составные узлы** з'явиться рядок **Соединения балок**;

➤ Додайте другий вузол, натиснувши кнопку **Добавить...**;

➤ У вікні **Выбор типа узла** вкажіть пункт **Соединение балок** ⇒ **Сопряжение балок** ⇒ **Сечение балки двутавровое**, вибираємо вузол сполучення балок **Пластина уголок** і в вікні **Назначение элементов узла** введіть наступні параметри:

- Балка №= 24;
- Колонна №= 67;
- Увімкніть радіо-кнопку **Использовать заданное поперечное сечение**.

➤ Деревовидний список в вікні **Составные узлы** повинен виглядати так, як показано на рис. 2.73.

Якщо кожне сполучення має позначку , це означає, що всі вузли законструйовані правильно.

➤ Натисніть кнопку **Закорить**, щоб закрити діалогове вікно **Составные узлы** і збережіть схему.

2.12. Розрахунок бази колони в СТК-САПР

Конструювання простого вузла

Виведіть на схемі нумерацію вузлів і елементів;

➤ Для створення і розрахунку вузла виберіть і виконайте пункт меню **Результаты** ⇒ **Рассчитать узел**;

Розраховуємо вузол примикання колони до фундаменту.

➤ В діалоговому вікні **Выбор типа узла** (рис.2.74) вкажіть пункт **Базы колон – Шарнирные – Сечение колонны двутавровое**;

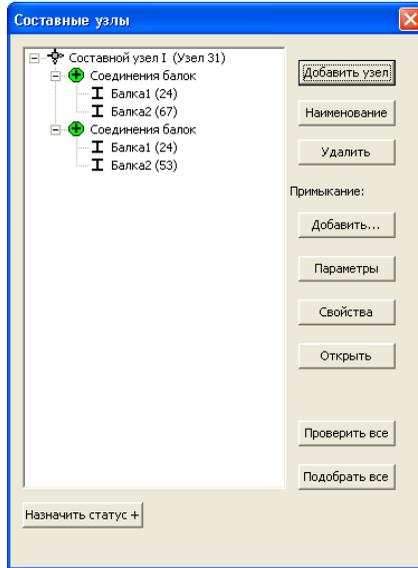


Рис.2.73. Диалогове вікно «Составные узлы»

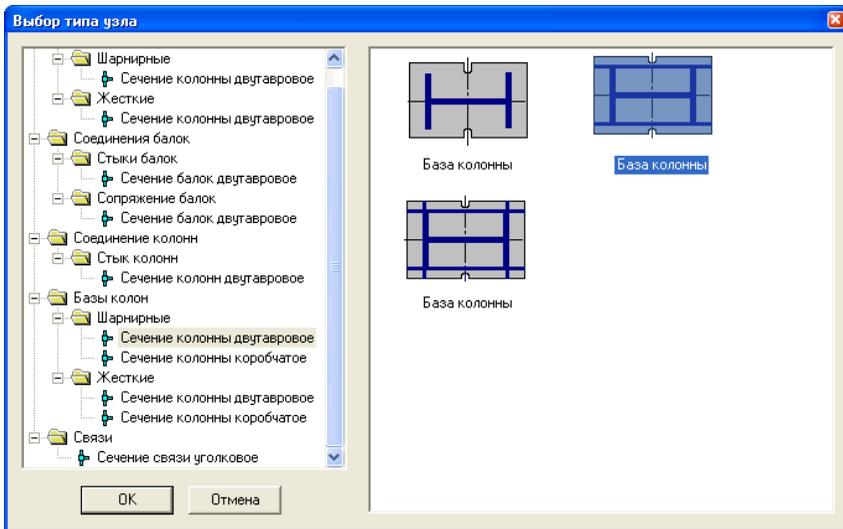


Рис.2.74. Диалогове вікно «Выбор типа узла»

- Подвійним клацанням по іконці вузла, відкрийте діалогове вікно **Назначение элементов узла** (рис.2.75), в діалоговому вікні введіть параметри:

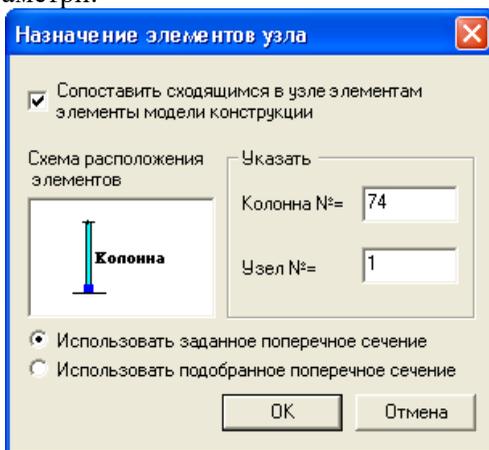


Рис.2.75. Діалогове вікно «Назначение элементов узла»

- **Колонна №= 74;**
- **Узел № = 1;**
- Це обов'язково повинен бути вузол примикання колони фундаменту. Увімкніть радіо-кнопку **Использовать заданное поперечное сечение**.
- Щоб підтвердити введені дані натисніть кнопку **ОК**.
- Далі відкриється локальний режим розрахунку вузла. В локальному режимі задаємо допоміжні характеристики елементів вузла.
- Натискаємо на кнопку **Характеристики** (кнопка  на панелі задач) – відкриється діалогове вікно **Общее** (рис.2.76);
- В розділі **Коэффициенты**, задаємо коефіцієнт умов роботи $\gamma_c=1.2$;
- В розділі **Материалы** вказуємо марку бетону **B12**;
- В розділі **Наименование группы элементов узла** вказуємо рядок **Пластины**;
- Далі, натиснувши кнопку, **Выбрать свойства группы...** відкриваємо діалогове вікно **Свойства пластины** (рис.2.77);

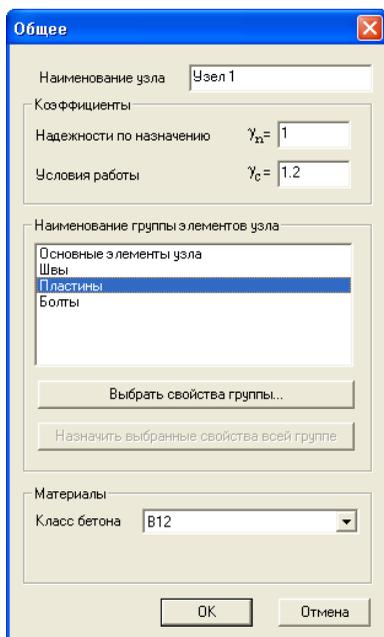


Рис.2.76. Диалогове вікно «Общее»

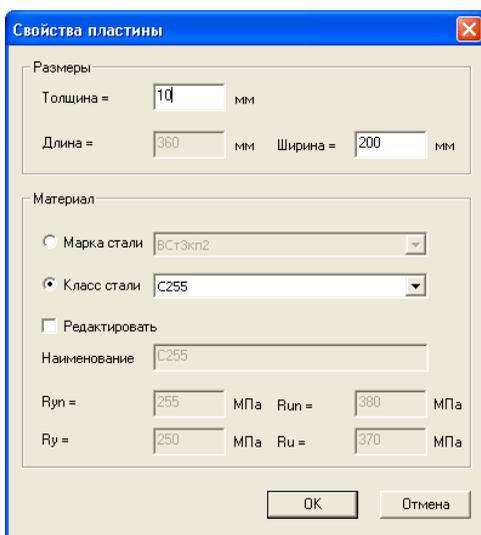


Рис.2.77. Диалогове вікно «Свойства пластины»

В цьому вікні вводимо наступні параметри:

- Встановлюємо радіо-кнопку **Класс стали**;
- Задаємо клас сталі: **C255**;

Решту параметрів залишаємо без змін.

- Натискаємо кнопку **ОК**.
- Надаємо вибрані властивості всім пластинам даного вузла клацнувши кнопку **Назначить выбранные свойства всей группе**
- В розділі діалогового вікна **Общее** - Наименование группы элементов узла вказуємо рядок **Швы**.
- Далі, клацнувши на кнопці **Выбрать свойства группы...**, відкриваємо діалогове вікно **Свойства: сварной шов** (рис.2.78).

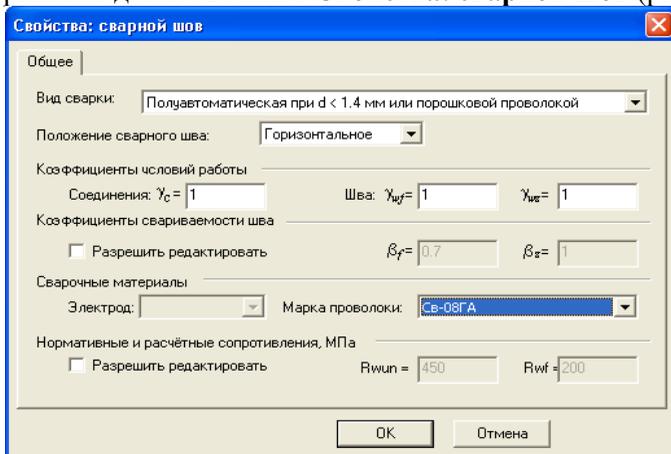


Рис.2.78. Діалогове вікно «Свойства: сварной шов»

В діалоговому вікні вводимо наступні параметри:

- Вид зварки: **Полуавтоматическая при d<1.4мм или порошковой проволокой**;
- Положення зварного шва: **Горизонтальное**;
- Марка дроту: **Св-08А**.

Решта параметрів залишається без змін.

- Підтверджуємо введені параметри, натиснувши кнопку **ОК**.
- Надайте вибрані властивості всім швам даного вузла клацнувши кнопку **Назначить выбранные свойства всей группе**

- В розділі діалогового вікна **Общее - Наименование группы элементов узла** вказуємо рядок **Болты**.
- Натиснувши на кнопку **Выбрать свойства группы...** відкрийте діалогове вікно **Свойства: болты** (рис.2.79).
- При даній конструкції бази колони діаметр анкерних болтів призначаємо конструктивно $d=12$ мм, решту параметрів залишаємо без змін. Дані підтверджуємо натиснувши кнопку **ОК**.
- Надаємо вибрані властивості всім болтам даного вузла клацнувши кнопку **Назначить выбранные свойства всей группе**.
- Натиснувши кнопку **ОК** закриваємо вікно **Общее**;

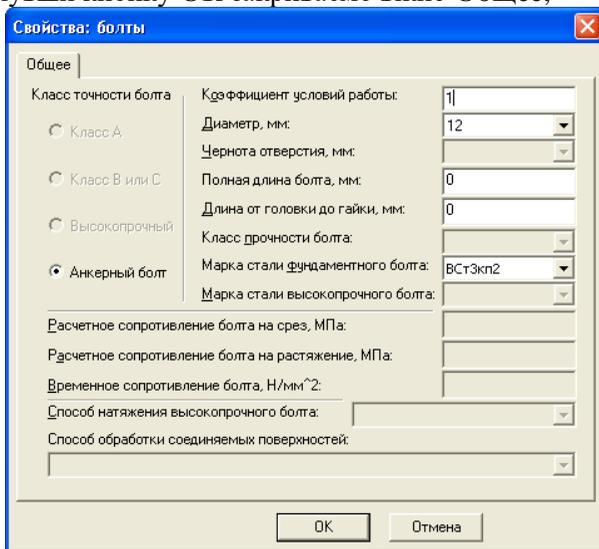


Рис.2.79. Діалогове вікно «Свойства: болты»

- Відкриваємо діалогове вікно **Параметры узла** (кнопка  на панелі інструментів). В цьому вікні (рис.2.80) в розділі **Параметры** задаємо наступні дані:
 - **Толщина t_{pl}** : Плита = 2.8 см;
 - **Длина H** : Плита = 50 см;
 - **Ширина B** : Плита = 50 см;
 - **Длина: Траверса** = 50 см;

- Катет : Шов Ш1 = 0.7 см
- Катет полки : Шов Ш1 = 1.2 см
- Катет стенки : Шов Ш1 = 1.2 см
- Катет : Шов Ш2 = 0.4 см

Решта параметрів залишається за умовчанням.

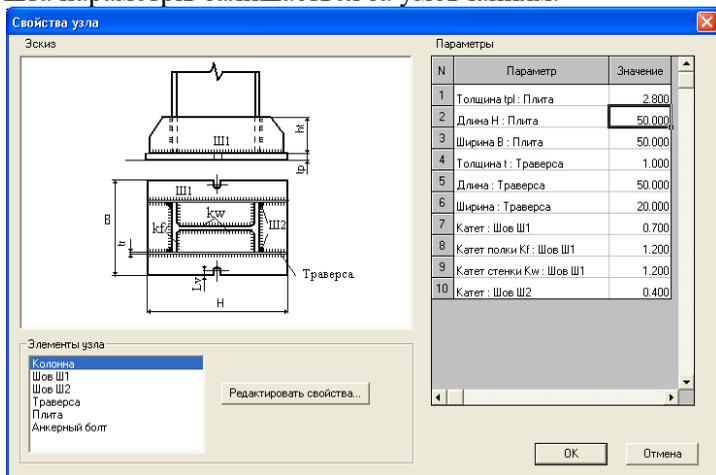


Рис.2.80. Диалогове вікно «Свойства узла»

- Натиснувши кнопку **ОК**, закриваємо вікно **Параметры узла**.

Збереження інформації про вузол

- В локальному режимі конструювання вузла виконайте перевірку заданих параметрів за допомогою команди **Проверка параметров узла** (кнопка  на панелі задач). Відкрийте

Трассировку расчета (кнопка  на панелі задач) і подивіться процент використання несучої здатності елементів вузла (Рис.2.81). Якщо проценти використання з якихось міркувань вас не влаштовують, передбачена можливість автоматичного підбору елементів вузла.

- За допомогою команди **Сохранить** збережемо дані вузла;
- В діалоговому вікні **Сохранить как** впишіть ім'я задачі – **Узел 1-74** та закрийте локальний режим розрахунку (**Файл** ⇒ **Закреть**).

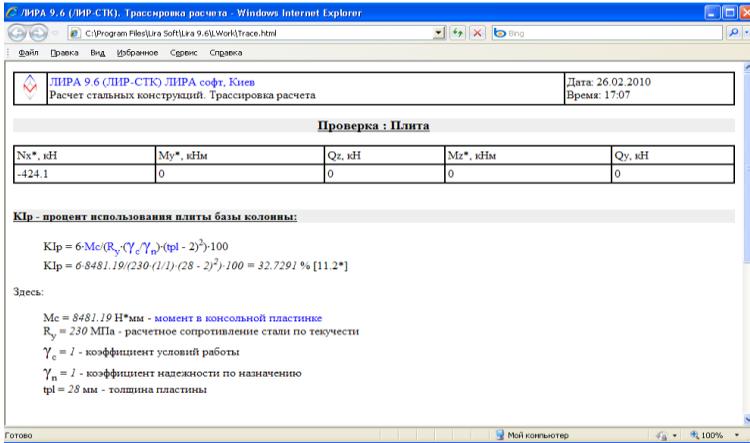


Рис.2.81 Трасування розрахунку процента використання несучої елементів вузла

2.13 Автоматизоване виконання креслень

2.13.1 Підготовка робочих креслень металевих конструкцій за допомогою КМ-САПР

Перед тим, як перейти безпосередньо к прикладу конструювання та викреслюванню простих та складних вузлів, надамо деяку інформацію щодо підготовки креслень засобами КМ-САПР.

Як відомо, креслення металоконструкцій бувають двох комплектів: КМ та КМД, розшифровується як «конструкції металеві» та «конструкції металеві деталювання». Перший комплект звичайно розроблюється інженером–проектувальником, а другий – на заводі металоконструкцій ЗМК. Програмний комплекс ЛІРА-САПР зорієнтований на інженерів–проектувальників і автоматизує тільки створення креслень КМ, маючи для цього спеціалізовану підсистему, яка називається КМ-САПР.

Програма КМ-САПР призначена для автоматизації створення проектно–конструкторської документації комплекту креслень КМ. Основний комплект креслень КМ формується відповідно до тимчасової інструкції СН 460–74 «Конструкції металічні креслення КМ». Перелік документів, які входять до основного комплекту

креслень та його підтримка в програмі КМ-САПР приводяться в таблиці 1.3. Помітка значить, що програма дозволяє автоматизувати створення і редагування вказаного документа, а помітка – що ні. Як видно з таблиці, КМ-САПР спроможна автоматизувати розробку основних документів КМ. Пункт «Відомості про навантаження і впливи на конструкції і фундамент» не підтримується безпосередньо в програмі КМ-САПР, але в розробці його креслень допоможе функція «Навантаження на фрагмент» з програми ВІЗОР-САПР. Решта документів являють собою таблиці та текстові дані загального змісту або примітки, автоматизувати виготовлення яких неможливо або недоцільно.

Програма КМ-САПР працює головним чином з кресленнями, тому вона була створена як прикладна програма для відомої креслярської програми AutoCAD фірми Autodesk. Щоб запустити КМ-САПР необхідно попередньо мати на комп'ютері вже встановлену програму AutoCAD¹. КМ-САПР додає до меню AutoCAD своє меню «КМ», а до лінійок інструментів AutoCAD власну лінійку інструментів з тією ж назвою (рис. 2.82). Так можна користуватись програмою КМ-САПР як додатком до основних функцій програми AutoCAD, що досить зручно під час створення креслень.

Таблиця 2.2

Автоматизація креслень КМ програмою КМ-САПР

Склад основного комплекту креслень КМ	
Відомість робочих креслень основного комплекту	<input type="checkbox"/>
Відомість додаткових документів та посилань на інші документи	<input type="checkbox"/>
Відомість основних комплектів робочих креслень	<input type="checkbox"/>
Загальні вказівки	<input type="checkbox"/>
Інші дані	<input type="checkbox"/>
Відомості про навантаження і впливи на конструкції і фундамент	<input type="checkbox"/>
Креслення загальних видів конструкції будинку чи споруди	<input checked="" type="checkbox"/>
Схеми розташування елементів з маркуванням елементів і вузлів	<input checked="" type="checkbox"/>
Відомість елементів	<input checked="" type="checkbox"/>
Креслення елементів конструкцій (наприклад, ферм) з проставленням перерізів, зусиль, опорними реакціями, сталями и маркуванням	<input checked="" type="checkbox"/>

¹ Прикладні програми можна завантажувати тільки в AutoCAD повної версії, AutoCAD LT для цього не підходить. Отже, для ЛІРА-КМ потрібний будь-який AutoCAD не нижче 2000 версії, а не AutoCAD LT.

вузлів	
Креслення вузлів конструкцій	<input checked="" type="checkbox"/>
Специфікація металопрокату окремо по розділам (балки, колони і т.д.) і зведена специфікація металопрокату	<input checked="" type="checkbox"/>

КМ-САПР є логічним продовженням підсистеми розрахунку металевих конструкцій СТК-САПР, і її графічні засоби добре пристосовані для візуалізації розрахункових схем. КМ-САПР зберігає зв'язок зі скінченно-елементною моделлю ПК ЛІРА-САПР, тому крім свого прямого призначення – формування креслень КМ – може використовуватись як програма візуалізації та документування стержневих моделей ПК ЛІРА-САПР (рис. 2.82 – 2.85). Пластинчаті скінченні елементи в програмі КМ-САПР не показуються.

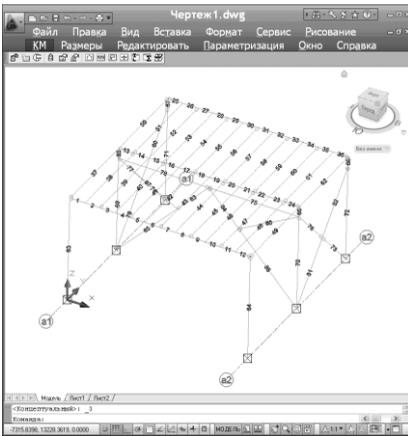


Рис. 2.82 Розрахункова схема ПК ЛІРА-САПР

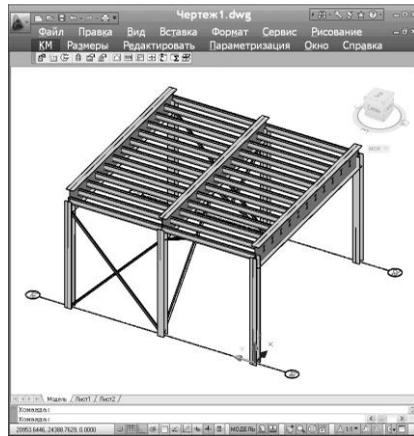


Рис. 2.83 Розрахункова схема СТК-САПР, в тілі

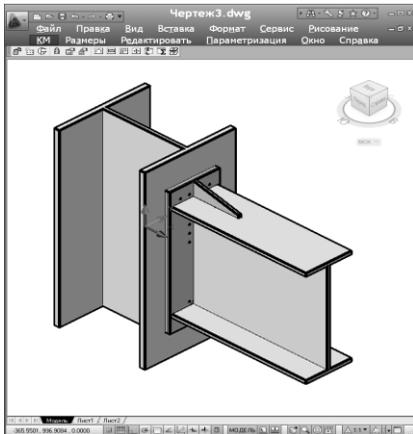


Рис. 2.84 Вузол, автоматично сконструйований з результатів розрахунку програми СТК-САПР

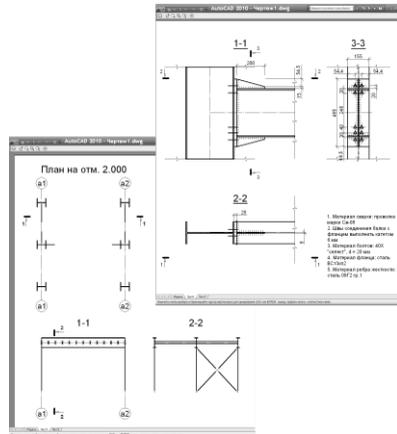


Рис. 2.85 План та розрізи споруди та автоматично згенеровані креслення вузла

2.13.2 Тривимірна модель

Основою в програмі КМ-САПР є тривимірна модель. З тривимірної моделі КМ-САПР можна генерувати плани, розрізи, проекції, а також формувати відомості елементів та специфікацію металопрокату. Тривимірну модель можна одержати як побудувавши її безпосередньо в КМ-САПР, так і імпортувавши її із ПК ЛІРА-САПР або іншої програми. Після імпорту можна відредагувати конструкцію, змінивши положення її елементів і доповнивши її новими елементами. Найочікуваніша послідовність роботи створенню тривимірної моделі така: ВІЗОР-САПР → СТК-САПР → КМ-САПР (рис. 1.1), – іншими словами, спочатку формується скінченно–елементна розрахункова схема, далі вона розраховується в СТК-САПР, а потім, з розрахункової схеми створюється тривимірна модель КМ-САПР. Але можливі й інші варіанти створення моделі КМ-САПР. По–перше, можна створити модель в КМ-САПР «з нуля», а по–друге, можна імпортувати модель з інших програм, через формат IFC 2x3 (*.ifc)¹ або DStV PSS (*.stp)² (рис. 2.86)

¹ Формат IFC (*Industrial Foundation Classes*, промислові базові класи) є фактичним стандартом обміну даними між архітектурними програмами. Являє собою текстовий файл

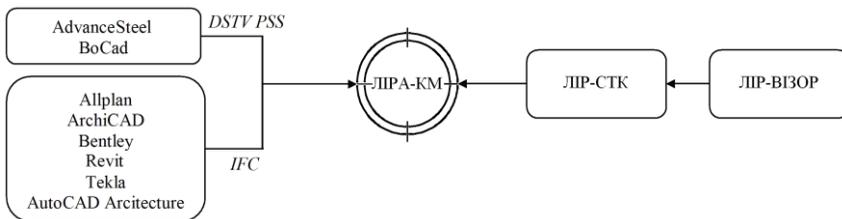


Рис. 2.86 Інформаційний зв'язок програми КМ-САПР з програмами моделювання будівельних конструкцій

В будь-якому випадку модель, що була створена на основі розрахункової схеми ПК ЛІРА-САПР чи з файлу формату ifc / str, необхідно доопрацьовувати. Доопрацювання – це створення додаткових елементів, таких як драбини, поручні тощо, а також редагування елементів.

Тривимірні моделі, створені «до останнього гвинтика» виходять дуже великі, на декілька сотень мегабайт пам'яті комп'ютера. Такі моделі, та ще й з в тривимірному вигляді довго і важко редагувати. Щоб полегшити роботу з моделлю її необхідно спростити. Для цього програма КМ-САПР розділяє моделі на два типи: тривимірна модель конструктивної частини будинку чи споруди, далі ми будемо її називати модель будівлі (рис 2.83), та тривимірна модель вузла (рис. 2.84). На моделі будівлі зображуються елементи всієї конструкції, а на моделі вузла – елементи тільки одного вузла. Такий поділ дозволяє вільно генерувати плани, розрізи та схеми будівлі, а також креслення вузла. На моделі будівлі, скільки б її не наближати, не з'являться болти і фасонки, бо для того щоб їх побачити, необхідно поглянути на модель відповідного вузла. Єдине, коли необхідно пов'язати модель будівлі та модель вузла, – це процес формування таблиць. В таблиці в «Відомість елементів» необхідно врахувати зміну довжини елемента з врахуванням конструкції вузла, а в таблиці «Специфікація сталі» необхідно ще й

певного формату.

² Формат DSTV PSS (*Deutscher Stahlbau-Verband Produktschnittstelle Stahlbau*, інтерфейс сталепродуктів Німецької асоціації сталевиробників) є форматом обміну даними між програмами моделювання сталевих конструкцій. Також являє собою текстовий файл певного формату.

вагу додаткових елементів вузла, помножену на кількість вузлів. Щоб пояснити останнє речення, поглянемо на рис. 2.87.

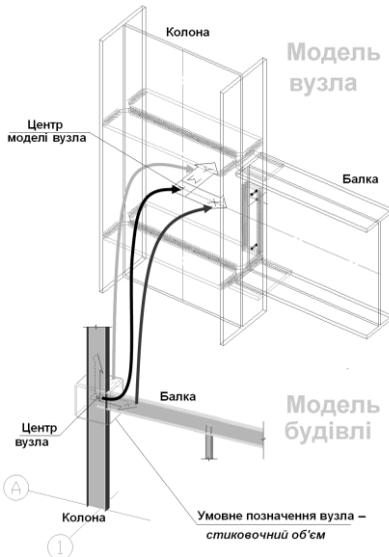


Рис. 2.87 Призначення моделі вузла перетину елементів

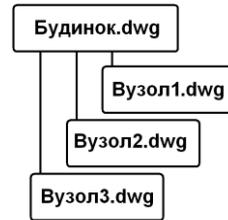


Рис. 2.88 «Модель будівлі і моделі вузлів»

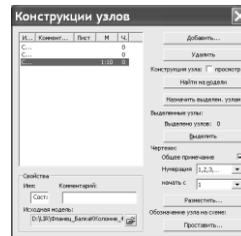


Рис. 2.89 Вікно призначення моделей вузлів

В моделі будівлі елементи виглядають як тривимірні тіла, вісь яких починається і закінчується в місцях перетину елементів: саме так вони задані в розрахунковій схемі ПК ЛІРА-САПР і саме так приходять в програму КМ-САПР. Реальна ж довжина балки трохи менша: а саме, на півширини колони плюс кілька міліметрів зазору. В таблиці «Відомість елементів» необхідно буде вивести саме реальну довжину балки, а в таблиці «Специфікація металопрокату» необхідно врахувати вагу балки реальної довжини а ще – вагу додаткових ребер та пластин.

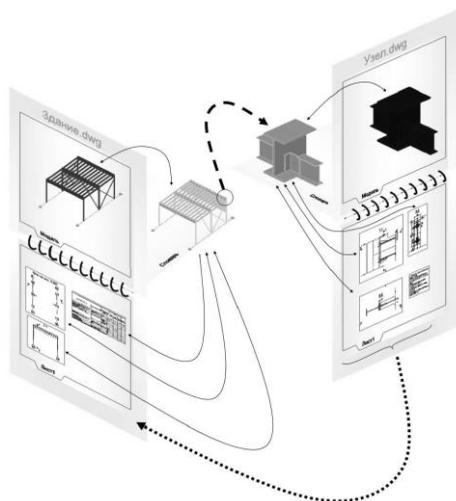
Щоб пов'язати модель вузла з моделлю будівлі, КМ-САПР дозволяє призначати перетину елементів модель вузла. Місце перетину елементів називається в КМ-САПР збірочний вузол (в програмі «Сборочный узел»), а зображається в КМ-САПР як прозорий кубик, який називається стиковочний об'єм. Після того, як перетину призначена модель вузла, необхідно знайти кожному

елементу, що примикає до перетину в моделі конструкції, відповідний елемент з моделі вузла. Для цього в КМ-САПР необхідно вказати, як розташовується модель вузла в місці перетину елементів моделі будівлі. Центр моделі вузла суміщається з центром перетину, а напрямки координатних осей вузла суміщаються з напрямками координатних осей перетину (див. рис. 2.87). Тоді елементи, які розташовані однаково в системі координат вузла і системі координат перетину, будуть відповідними.

Таким чином, щоб пов'язати модель вузла з перетином елементів, необхідно призначити перетину модель вузла і зорієнтувати систему координат збірочного вузла відповідно до системи координат моделі вузла. Одна й та ж сама модель вузла може бути призначена декільком перетинам, або збірочним вузлам. Завдяки цьому можна зекономити апаратні ресурси комп'ютера, до того ж редагувати декілька простих моделей набагато простіше, ніж одну складну. Оскільки всі свої моделі КМ-САПР зберігає в середині «рідних» файлів AutoCAD *.dwg або *.dxf, то графічно залежність можна зобразити як на рис. 2.88: з одним файлом, який містить модель будівлі, зв'язано декілька файлів з моделями вузлів. Для призначення моделей вузлів перетинам елементів в КМ-САПР призначене діалогове вікно «Конструкції вузлів», рис. 2.89.

Схему взаємодії між моделлю будівлі і моделлю вузла ілюструє рис. 2.90.

На закінчення цього підрозділу зауважимо, що, розділяти модель будівлі і моделі її вузлів не обов'язково. Можна створювати одну велику модель, додаючи до неї болти, шви, пластини і т.д., як це роблять інші програми, призначені для моделювання металокопункцій, і не використовувати це своєрідне ноу-хау українського виробника.



Умовні позначення:

	Математична модель будівлі		Математична модель вузла
	Графічний вид моделі будівлі		Графічний вид моделі вузла
	Креслення моделі будівлі		Креслення моделі вузла
	Таблиця		
	Математична модель і її графічні види відображають зміни одне в одного		
	В будь-який момент часу можна регенерувати таблицю		
	Перетини елементів зберігають імена файлів з моделями вузлів		
	Креслення вузлів можна скопіювати на листи креслень моделі будівлі		

Рис. 2.90 Схема взаємодії об'єктів ЛІРА-КМ

2.13.3 Склад моделі

Модель будівлі або модель вузла в КМ-САПР складається з наступних елементів:

- координатна вісь
- прямолінійний стержень
- пластина
- зварний шов
- серія болтів
- виріз, або отвір в пластині або стержні
- таблиця відомості елементів
- таблиці специфікації металопродукту
- виноска – позначення вузла
- виноска – висотна відмітка
- креслення
- скінченно–елементна модель будівлі (тільки для моделей, імпортованих з СТК-САПР)
- вузол, або збірочний вузол, – об’єкт, який пов’язує певну точку в моделі будівлі з моделлю вузла, яка міститься в окремому документі

Для зручності подальшого опису введемо декілька термінів.

Математична модель будинку або вузла – це модель, що описує будівлю або вузол, і не має графічних складових. Всі елементи моделі КМ-САПР, список яких приводився абзацом вище, об’єднані в математичну модель. Фізично математична модель будинку або вузла зберігається в спеціалізованому елементі словника файлу DWG (див. рис. 2.90). Математична модель візуалізується за допомогою своєї графічного вигляду й креслень.

Графічний об’єкт зображає елемент математичної моделі на її графічному вигляді та кресленнях і являє собою набір атрибутів, кожний з яких є об’єктом AutoCAD: відрізком, полілінією, 3D тілом і т.п. Наприклад, графічний об’єкт стержень має атрибути: центральна вісь, вісь вставки, тіло, зображення в одну лінію. Можна керувати видимістю атрибутів графічного об’єкта, домагаючись більш докладного або, навпаки, більш простого

зображення кожного елемента з спеціалізованого вікна під назвою «Настройки изображения».

Графічний вигляд моделі – набір графічних об'єктів, кожний з яких пов'язаний з відповідним елементом математичної моделі будинку або вузла. Графічний вигляд моделі розташовується в просторі моделі (закладка "Модель") документа AutoCAD. Існує тільки один графічний вигляд моделі для кожної математичної моделі.

Креслення – ця особливий графічний вигляд моделі, що зображує частину простору, зайнятого моделлю, у певній проекції. Креслення розташовуються в просторі листа (закладки "Лист"). Креслення відображають плани, розрізи або види будинку або вузла. В одній математичній моделі може бути кілька креслень, що розташовуються на різних аркушах. Креслення не пов'язане з видовими екранами AutoCAD і, на відміну від видових екранів AutoCAD, саме містить усі свої елементи, а не відображає об'єкти закладки "Модель" під іншим ракурсом. На кресленні й на графічному вигляді моделі елемент математичної моделі відображається однаковими графічними об'єктами.

2.13.4 Імпорт моделі

Імпортувавши модель з іншої програми, можна після невеликих доопрацювань приступити до генерації її креслень, тому імпорт моделі є хорошим початком роботи в програмі КМ-САПР. КМ-САПР може побудувати свою модель зі скінченно-елементної моделі ПК ЛПА-САПР, з файлу розрахунку вузла СТК-САПР, а також з моделей у форматах IFC та DStV PSS.

Імпорт моделей ПК ЛПА-САПР виконується з файлів СТК-САПР (*.HVM). Таким чином, щоб імпортувати модель ПК ЛПА-САПР в систему КМ-САПР, необхідно попередньо принаймні відкрити й зберегти її в СТК-САПР. Імпортуються будівельні осі, стержневі скінченні елементи й складні вузли, про останні йтиметься трохи далі в цьому розділі.

Осі стержневих елементів КМ-САПР, створюваних під час імпорту, повторюють осі скінченних елементів ПК ЛПА-САПР, а поперечний переріз створюваного елемента приймається з результатів перевірки або підбору поперечних перерізів СТК-САПР. До речі, поперечні перерізи можна імпортувати в модель

КМ-САПР декілька разів. Це корисно, якщо поперечні перерізи з якихось причин були перераховані в СТК-САПР. Якщо в підсистемі СТК-САПР декілька скінченних елементів були об'єднані в один конструктивний елемент, то відповідний стержневий елемент моделі в КМ-САПР буде створений з конструктивного (про конструктивні елементи йдеться в розд. 1.6.3.2 «Конструктивні і уніфіковані елементи»). Уніфіковані групи елементів не мають значення для КМ-САПР.

Реальна модель будівлі може відрізнятися від розрахункової схеми ПК ЛІРА-САПР. При побудові скінченно-елементної розрахункової схеми каркаса будинку зазвичай нехтують деякими подробицями розташування елементів, наприклад, умовно вирівнюють осі всіх – головних і другорядних балок одного поверху – в одну площину, а ще – не включають в скінченно-елементну модель ненесучі елементи, такі як драбини, поручні, парапети. Тому модель КМ-САПР, яка призначена для креслення, необхідно доопрацювати, виправивши спрощення, прийняті в скінченно-елементній моделі та додавши металеві ненесучі елементи. Для того, щоб полегшити процес доопрацювання, під час імпорту розрахункової схеми ПК ЛІРА-САПР в рамках моделі КМ-САПР створюється вихідна, скінченно-елементна модель (див. рис. 2.82). Це дозволяє під час редагування моделі КМ-САПР вивіряти просторове розташування стержневих елементів КМ-САПР по початковому розташуванню скінченних елементів. Скінченні елементи в КМ-САПР не можна редагувати.

Тепер повернімося трохи назад і поговоримо про ідею складних вузлів. В розділі 1.6.2, «Типи перерізів та вузлів», були дані загальні відомості про складні вузли. Ми вже знаємо, що складні вузли – це вузли, які складаються з набору примикань, при чому кожне з примикань розраховується окремо. Складні вузли створюються в програмі СТК-САПР спеціально для системи КМ-САПР, бо в самій програмі СТК-САПР без них цілком спокійно можна обійтися. Перевагою складного вузла для програми КМ-САПР є те, що він автоматично розташовується в просторі і автоматично призначається перетину відповідних елементів. Але, оскільки насправді складний вузол не є справжнім вузлом, в моделях вузлів програми КМ-САПР, створених зі складних вузлів СТК-САПР, є деякі особливості. А саме, при імпорті моделі вузла

окремо створюється кожне примикання, що входить у складний вузол. Це значить, що, якщо в складеному вузлі до колони



в моделі вузла, побудованої в КМ-САПР колони буде дві:



одна – від примикання балки ліворуч



а інша – від примикання балки праворуч

примикають дві балки, то одну зайву колону доведеться видалити з моделі вузла вручну.

По отриманій моделі складеного вузла можна автоматично згенерувати креслення, див. рис. 1.8.

Для кожного складного вузла створюється свій власний, новий файл DWG, який містить модель вузла. Модель складного вузла при імпорті призначається одному перетину елементів будівлі. Можна призначити її й іншим точкам перетину елементів, де вузол має таку саму конструкцію, щоб з високою точністю врахувати вкорочення або подовження стержнів, що з'єднуються у вузлі, а також а масу додаткових елементів вузла при побудові специфікації металопродукту.

Імпорт вузла СТК-САПР з моделі параметричного вузла виконується з файлу *.JNT. Під час імпорту відбувається конструювання моделі вузла за результатами розрахунку й автоматична генерація необхідних креслень вузла із примітками (див. рис. 2.84, 2.85). Далі модель вузла можна призначити точкам перетину елементів, щоб в залежності від конструкції вузлів визначити правильну довжину елементів для таблиць «Відомість елементів» та «Специфікація металопродукту», а також врахувати масу додаткових елементів вузла, так само як і для складних вузлів.

Імпорт з форматів IFC та DStV PSS створює лише стержні, пластини і отвори в пластинах. Болти й зварні шви не імпортуються. Поділу на модель будівлі та моделі вузлів під час такого імпорту не відбувається, усі імпортовані елементи включаються в одну модель КМ-САПР.

На завершення цього підрозділу відкриємо ще одну цікаву функцію програми КМ-САПР, пов'язану з імпортом: моделі КМ-

САПР можуть бути імпортовані назад в ПК ЛІРА-САПР. Щоб відкрити в ПК ЛІРА-САПР модель КМ-САПР, слід зберегти її за допомогою пункту меню під назвою «Сохранить для ЛИРЫ!». Таким чином, в програмі КМ також можна створювати розрахункову схему ПК ЛІРА-САПР! Під час імпорту ПК ЛІРА-САПР триангулює пластини, тому схема може містити не тільки стержні, але й пластини. Також, КМ-САПР може служити проміжною ланкою при імпорті в ПК ЛІРА-САПР файлів IFC чи DStV PSS, якщо IFC-файл треба перед імпортом підредагувати, а програм, що вміють це робити, на комп'ютері немає.

2.13.5 Редагування моделі

Будь-які нові елементи моделі КМ-САПР створюються з одного-єдиного пункту меню під назвою «Создать». Редагування існуючих об'єктів КМ-САПР можливо двома способами: за допомогою сторінок властивостей і редагуючи об'єкти AutoCAD, що зображують об'єкти КМ-САПР. Наприклад, щоб змінити положення стержня в просторі, можна змінити положення його осі, що представляється в AutoCAD як відрізок, а щоб змінити поперечний переріз стержня, необхідно скористатися його сторінкою властивостей. За допомогою сторінок властивостей можна змінювати кілька об'єктів одного типу одночасно.

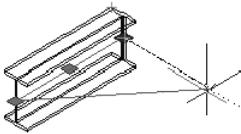


Рис. 2.91 Зміна положення стержня зміною положення його осі

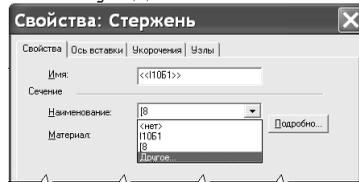


Рис. 2.92 Зміна поперечного переріза стержня зі сторінки властивостей

Не всі об'єкти AutoCAD, що зображують елементи моделі КМ-САПР, можна змінювати. Наприклад, положення тіла стержня змінити не можна: при спробі зміни воно відновить своє попереднє положення. Щоб змінити положення стержня, треба змінити положення його осі (рис. 2.91). Тобто, частина об'єктів AutoCAD, які зображують елемент моделі КМ-САПР, служать для його

редагування, а частина ігнорує редагування і служить тільки для представлення елементів на графічному вигляді та на кресленнях (рис. 2.93). Іноді для того, щоб розпочати редагування об'єкта КМ-САПР, необхідно спочатку ввімкнути ті з його атрибутів, які піддаються редагуванню зі спеціалізованого вікна під назвою «Настройки изображения» (рис. 2.96). В додатку 2 представлена таблиця відповідності елементів моделі КМ-САПР і об'єктів AutoCAD, за допомогою яких будується їхнє зображення.

Копіювання й тиражування елементів моделі КМ-САПР відбувається так само, як і звичайних об'єктів AutoCAD.

Як бачимо, КМ-САПР використовує для свого зображення стандартні об'єкти AutoCAD. Зручним наслідком використання стандартних об'єктів AutoCAD є те, що при відкритті файлів *.dwg або *.dxf на комп'ютерах, де не встановлена КМ-САПР, уся графіка відображається без втрат, не вимагаючи додаткової установки будь-яких бібліотек об'єктів (object enabler).

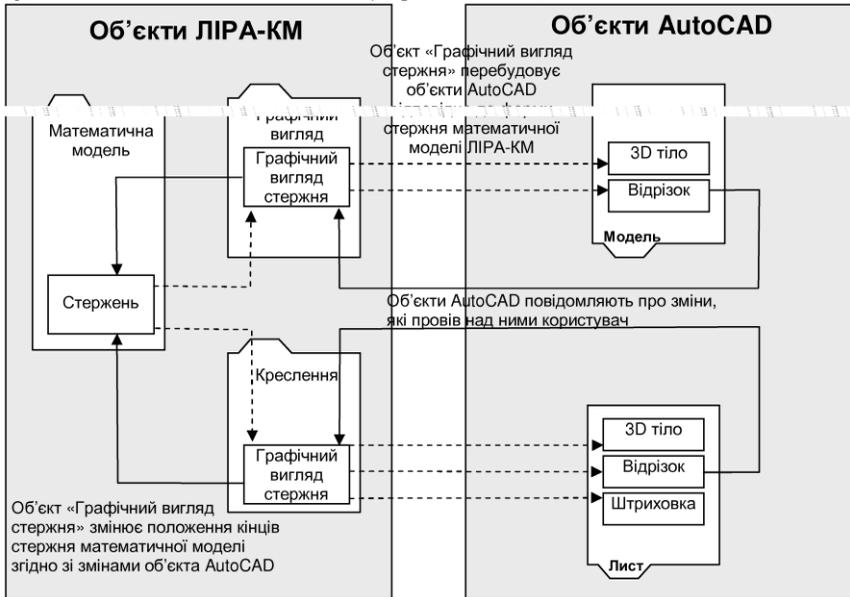


Рис. 2.93 Взаємодія об'єктів КМ-САПР та AutoCAD під час редагування

2.13.6 Створення креслень

Креслення КМ-САПР зображують частину простору, займаного моделлю, у певній проекції й розташовуються в просторі листа (закладка "Лист"). Частина простору, що зображується на кресленні, являє собою прямокутний паралелепіпед (рис. 2.94). Матеріальні елементи моделі КМ-САПР, розсічені січною площиною, штрихуються. Креслення можуть відображувати всі елементи, що потрапили в паралелепіпед або тільки визначені.

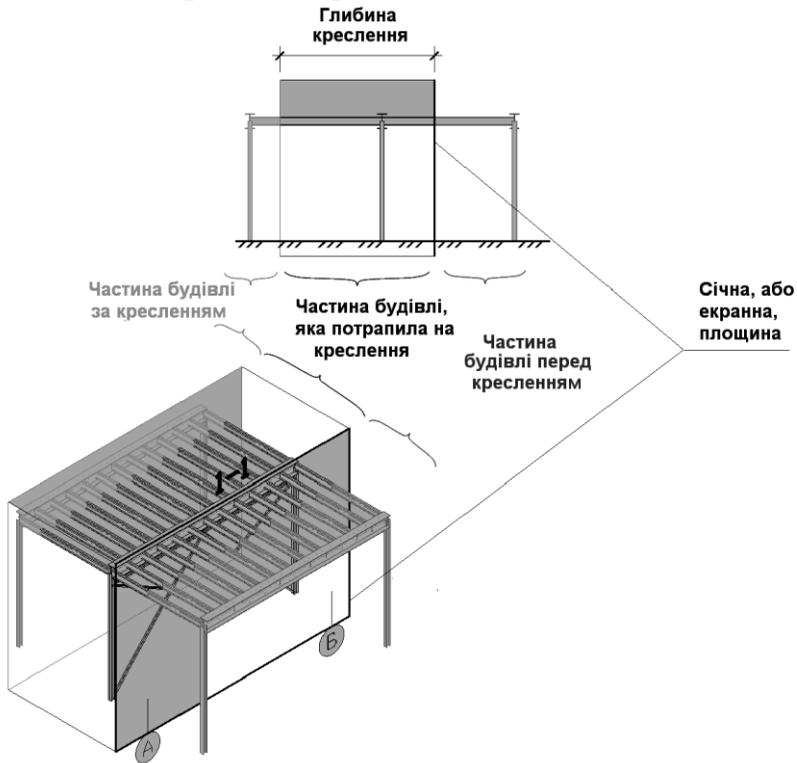
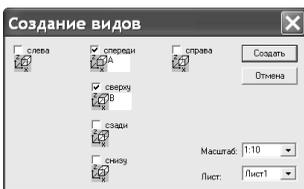


Рис. 2.94 Зона простору, яка потрапляє в креслення



Щоб створити креслення, досить вказати курсором його січну площину і глибину, не важливо, на графічному

вигляді –закладка «Модель» – чи на вже існуючому кресленні. Для створення креслень вузлів передбачений спеціальний інструмент «Создание видов», який дозволяє створити одночасно декілька проєкцій вузла.

Зовнішній вигляд об'єкта на кресленні і на графічному вигляді моделі КМ-САПР можна налаштувати, показавши одні і сховавши інші графічні атрибути. Наприклад, на плані балок колони можна показати атрибутом «тіло», а балки показати атрибутом «в одну лінію» (рис. 2.95 – 2.96).

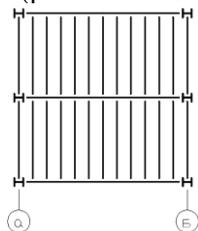


Рис. 2.95 План балок

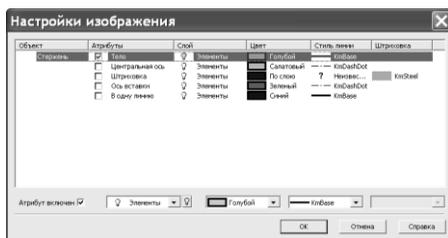


Рис. 2.96 Вибір видимих атрибутів

На кресленні можна проставити маркування елементів згідно з відомістю елементів, розміщеною на тому ж листі. Ще на кресленні можна автоматично позначити над елементами їх переріз та зусилля, створивши таким чином *схему елемента*, наприклад, ферми (рис. 2.97). На кресленні можна проставити також висотні відмітки, розміри й маркування вузлів.

Редагування креслення та об'єктів на кресленні. Креслення зображають елементи моделі КМ-САПР такими ж об'єктами, як і графічний вигляд моделі на закладці "Модель", тобто містять тривимірні об'єкти. Як вже було відзначено, креслення не пов'язані з видовими екранами AutoCAD, які зображують зміст закладки "Модель" під новим ракурсом, а самі містять усі свої елементи. Проте поведінка креслень схожа на поведінку видових екранів AutoCAD. Креслення може бути у двох станах: активному й неактивному. Коли креслення неактивне, його можна виділити, клацнувши мишею по його рамці або назві, і змінити його властивості: пересунути на нове місце, змінити розміри, а якщо викликати його сторінку властивостей за допомогою команди «Свойства», то можна відредагувати масштаб і інші параметри креслення. Коли креслення активне, рамку і заголовок креслення не

можна виділити. Проте елементи моделі КМ-САПР, зображені на активному кресленні, можна редагувати так само, як і на графічному вигляді моделі на закладці "Модель", за винятком хіба що елементів, усічених січною площиною креслення або іншими гранями паралелепіпеда креслення.

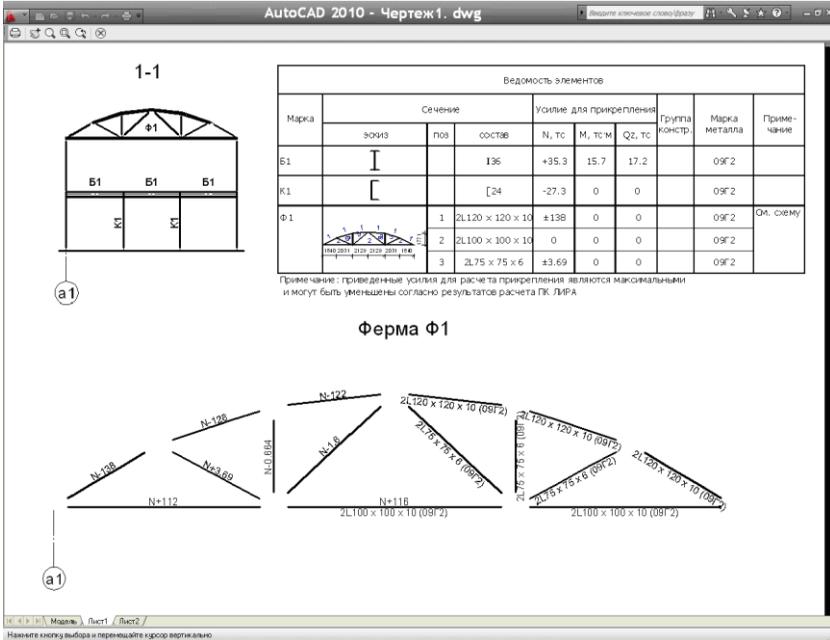


Рис. 2.97 Розріз 1–1 з маркуванням згідно відомості елементів, схема елемента Ф1 з перерізами та зусиллями

Подвійне клацання усередині рамки креслення робить його активним, а поза рамкою – неактивним. Креслення в активному стані відображає навколо себе більш грубу рамку (рис. 2.98).

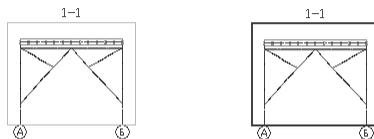


Рис. 2.98 Креслення в неактивному стані (ліворуч) та креслення в активному стані (праворуч)

Розміри на кресленні. Для спрощення проставлення розмірів на кресленні, активізація креслення змінює значення системної змінної AutoCAD під назвою DIMLFAC згідно з масштабом креслення. Це призводить до того, що розміри, які створюються при наявності активного креслення на листі масштабуються згідно з масштабом креслення. Деактивація креслення відновлює попереднє значення змінної. Висотні відмітки в момент створення також прив'язуються до активного креслення.

Доопрацювання креслень і друк. Для зручності редагування креслення КМ-САПР містять тривимірні об'єкти. Однак друк тривимірних об'єктів в AutoCAD сполучений з деякими труднощами: на кресленнях вузлів немає штрихових невидимих ліній, можуть не друкуватися таблиці КМ-САПР, розміщені на тому ж аркуші. Щоб запобігти таким проблемам, тривимірні креслення КМ-САПР слід перетворити перед друком на плоскі креслення спеціальною командою меню «Преобразовать в плоский». Тоді всі тривимірні об'єкти креслення замінюються плоскими лініями, а невидимі лінії, в тому числі зварних швів стануть переривчастими.

Перед друком плоских креслень слід відключити прапорець «Скрывать объекты листа» в параметрах аркуша AutoCAD: виберіть меню «Файл» \ «Диспетчер параметров печати», кнопка «Редактировать», прапорець «Скрывать объекты листа», кнопка ОК. Цей прапорець система КМ-САПР встановлює початково на кожному листі креслень, виходячи з того, що команда «Преобразовать в плоский» початково не виконана.

2.13.7 Створення таблиць

КМ-САПР автоматизує створення таблиць двох типів: відомість елементів і специфікація металопрокату. Відомість елементів може бути створена для кожного аркуша креслень, а специфікація металопрокату створюється одна на всю будівлю.

Відомість елементів може включати марки елементів двох видів: прості, тобто такі, що складаються із одного стержня й складні – з декількох. Прикладом простої марки може бути балка, а складної – ферма. На рис. 2.97 у відомості перші дві марки Б1 та К1 – прості, а марка Ф1 – складна. КМ-САПР може автоматично знайти елементи однакового поперечного перерізу і створити з них

проті марки відомості елементів. Автоматично створюються і ескізи марок: для простої марки ескіз – це поперечний переріз стержня, для складної – схема елемента. Якщо модель КМ-САПР була імпортована із ПК ЛПА-САПР, то з результатів розрахунків автоматично видобуваються зусилля на кінцях елемента, в відомості елементів ці зусилля називаються зусилля для прикріплення. Для простих марок зусилля і перерізи проставляються просто в відомості елементів, а для складної марки Ф1 зусилля проставлене на схемі елемента ліворуч, а поперечні перерізи праворуч (див. рис. 2.97).

Специфікація металопрокату будується за наступними правилами:

маса стержневого елемента дорівнює добутку довжини його центральної осі з урахуванням її скорочень/подовжень у вузлах на погонну масу профілю;

маса пластини дорівнює добутку площі пластини, на її товщину й на щільність сталі;

зменшення маси за рахунок вирізів, отворів, а також маса болтів і зварених швів при побудові специфікації не враховується.

The image shows a screenshot of AutoCAD 2010 with a table of metal profile specifications and a dialog box for creating a specification.

Вид профиля и ГОСТ, ТУ	Марка металла и ГОСТ	Обозначение и размер профиля	Код						Масса металла по элементам конструкции, т				Примечание	
			№ п/п	марки металла	ввода профиля	размера профиля	Количество, шт	Длина, мм	Колонны	Сваи по колоннам	Балки поперечный	Общая масса, т		
Двутавр с параллельными гранями полок (таблица В.Базальцов) ГОСТ 26020 - 83	S235 ГОСТ 27772-88	0561	1	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Итого:			2									6,07	6,07	
Профиль			3									6,07	6,07	
Профиль листового горючекапительного толщиной 2,5...25 мм ГОСТ 19903 - 74*	S235 ГОСТ 27772-88	-600 x 12	4							3,23			3,23	
		-600 x 8	5							1,00			1,00	
		-500 x 25	6									6,36	6,36	
		-630 x 25	7									4,45	4,45	
Итого:			8							4,31		10,81	15,12	
Всего профиля			9							4,31		10,81	15,12	
Отенок равнополочный ГОСТ 8509 - 86	S235 ГОСТ 27772-88	75 x 75 x 6	10								0,85	0,17	1,02	
Итого:			11								0,85	0,17	1,02	
Всего профиля			12								0,85	0,17	1,02	
Всего масса металла			13							4,31	0,85	17,04	22,20	
В том числе по маркам:	S235 ГОСТ 27772-88		14							4,31	0,85	17,04	22,20	
Площадь поверхности конструкции, подвешивания, защиты от коррозии: 469,3 кв.м														

Примечания: 1. Спецификация составлена по следующим листам: Лист 1, отходы и припуски на обработку

Спецификация металопроката

Создание

Разделы спецификации металопроката:

Эл. №	С...	Наименование	Марк...	%...
01	Б	Балки поперечный	Б1	100
02	Б	Балки поперечный	Б1	100
03	Б	Балки поперечный	Б1	100
04	К	Колонны	К1	100
05	К	Колонны	К1	100
06	К	Колонны	К1	100
07	Б	Балки поперечный	Б3	100
08	Б	Балки поперечный	Б3	100
09	Б	Балки поперечный	Б3	100
10	Б	Балки поперечный	Б3	100
11	Б	Балки поперечный	Б3	100
12	Б	Балки поперечный	Б3	100
13	Б	Балки поперечный	Б3	100
14	Б	Балки поперечный	Б3	100
15	Б	Балки поперечный	Б3	100
16	Б	Балки поперечный	Б3	100
17	Б	Балки поперечный	Б3	100
18	Б	Балки поперечный	Б3	100
19	Б	Балки поперечный	Б3	100
20	Б	Балки поперечный	Б3	100
21	Б	Балки поперечный	Б3	100
22	Б	Балки поперечный	Б3	100
23	Б	Балки поперечный	Б3	100
24	Б	Балки поперечный	Б3	100

Выделение в списке: Раздел: Площадь: Итого по разделу:

Выделение на модели: Выделено элементов: 0

Таблица: строка с площадью строка с наименованием

Обновить Показать Разместить на листе

Лист Кол. Лист Кол. Лист Кол. Лист Кол. Лист Кол.

Страница 1 из 1

Рис. 2.99 Специфікація металопрокату

Щоб урахувати вкорочення/подовження елементів, що приликають до вузла й масу додаткових елементів вузла в специфікації металопрокату, необхідно створити моделі вузлів і призначити їх місцям перетинів елементів, як це описано в розділі 2.13.2 «Тривимірна модель». У ході призначення моделей вузлів місцям перетинів елементів можна контролювати правильність за допомогою інструмента «Діагностика помилок» (рис. 2.100).

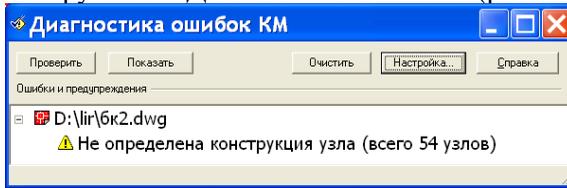


Рис. 2.100 Вікно діагностики помилок

Примітки:

1. КМ-САПР початково завжди встановлює прапорець «Скрывать объекты листа» в параметрах листа AutoCAD. Це призводить до того, що таблиці КМ-САПР, розміщені на тому ж аркуші, не друкуються. Щоб включити друк таблиць, відключіть цей прапорець, як описано в пункті 2.13.6 «Створення креслень».

2. Таблиці початково генеруються на російській мові, і щоб таблиці стали генеруватися на українській, треба перекласти файли *KmBom.vts*, *KmElSheet.vts*, *KmElSheet2.vts*, які поставляються разом з КМ-САПР.

2.13.8 Адаптація ЛІРА–КМ

КМ-САПР дозволяє будувати модель, креслення й таблиці за допомогою команд меню й діалогових панелей, але не тільки. Усіма цими об'єктами можна керувати за допомогою програмних інтерфейсів (application programming interface, API). Програмний доступ до об'єктів КМ-САПР здійснюється із середовища VBA (Visual Basic for Applications), чи VSTA (Visual Studio Tools for Applications) вбудованого в AutoCAD. Керуючи об'єктами КМ-САПР через програмний інтерфейс, інженер-конструктор може створювати необхідні конкретно для нього моделі КМ-САПР, будувати нові креслення й таблиці.

Можна також до певного ступеня керувати об'єктами КМ-САПР за допомогою програмних інтерфейсів AutoCAD. Пригадаймо, що об'єкти моделі КМ-САПР графічно зображаються через об'єкти AutoCAD (див. розділ 2.13.5 «Редагування моделі КМ-САПР»). Наприклад, об'єкт пластина моделі КМ-САПР зображається за допомогою двох стандартних об'єктів AutoCAD: полілінії й тіла, отриманого видавлюванням. КМ-САПР відслідковує зміни, що відбуваються з полілінією й відповідним чином змінює контур пластини (див. рис. 2.93 «Взаємодія об'єктів КМ-САПР та AutoCAD під час редагування»). Тобто, змінюючи полілінію через користувацький інтерфейс AutoCAD або через будь-який з його програмних інтерфейсів, ми тим самим змінимо контур пластини. Аналогічно КМ-САПР відслідковує і копіювання об'єктів AutoCAD, реагуючи на нього копіюванням власних об'єктів. Таким чином, ми можемо програмувати (створювати) об'єкти ЛІРА-КМ опосередковано, програмуючи об'єкти AutoCAD, що зображують об'єкти КМ-САПР.

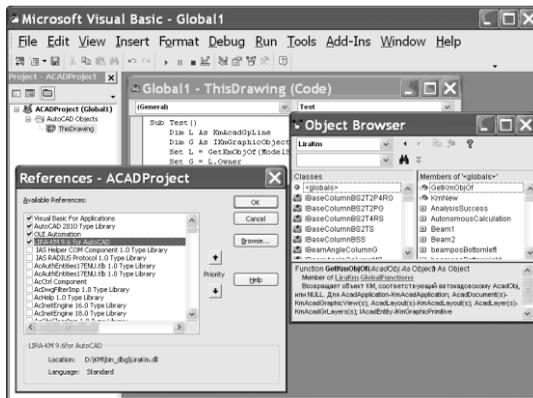


Рис. 2.102 Керування об'єктами КМ-САПР із середовища Visual Basic for Applications

2.13.9 Отримання креслень будинку чи споруди

КМ-САПР є прикладною програмою для AutoCAD, тому для роботи в КМ-САПР потрібні базові навички роботи в AutoCAD, наприклад, вміння увімкнути чи вимкнути видимість шару AutoCAD чи вміння виділяти чи переміщувати об'єкти. Ми

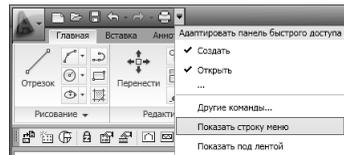
вважатимемо, що в читача є такі навички. Опис самого AutoCAD виходить за рамки цього навчального посібника.

Імпорт результатів розрахунку з програми СТК-САПР

- Запускаємо програму КМ-САПР з меню **Пуск** ⇨
- Для імпорту схеми будівлі виберіть пункт меню **КМ** ⇨ **Імпорт** и **Экспорт** ⇨ **Импортировать файл** (кнопка  на панелі інструментів **КМ**). З'явиться стандартне вікно для вибору файлів **Открыть**.



В AutoCAD, версії 2009 і вище меню початково приховане. Щоб ввімкнути меню, слід вибрати з панелі швидкого запуску пункт



⇨ ⇨ **Показать строку меню.**

- В вікні **Открыть** виберіть файл *БК(результати).hwt* й клацніть по кнопці **Открыть**. З'явиться вікно **Импорт модели ПК ЛИРА** (рис. 2.103).
- В вікні **Импорт модели ПК ЛИРА** у списку **Импортировать** виберіть рядок *Схема с проверенными по РСУ сечениями*. Клацніть по кнопці **ОК**, щоб виконати побудову моделі КМ-САПР з розрахункової схеми СТК-САПР.



*Якщо встановити прапорець **только сечения**, то модель КМ-САПР не буде заново будуватися зі схеми СТК-САПР, операція імпорту тільки замінить поперечні перерізи у елементів моделі. Якщо ввімкнено прапорець **составные узлы**, то для кожного складного вузла, який входить в імпортовану схему СТК-САПР, буде створений окремий файл DWG, що міститиме тривимірну модель КМ-САПР цього вузла. Початково прапорець **составные узлы** встановлено, тому крім того, що в активному документі AutoCAD буде створена модель КМ-САПР, для складного вузла буде створений новий документ AutoCAD, і в ньому буде побудована модель цього вузла. Місце, де знаходиться імпортований складний вузол, позначається в моделі КМ-САПР: на рис. 3.13.2 це квадратик на середині осі Б-Б.*

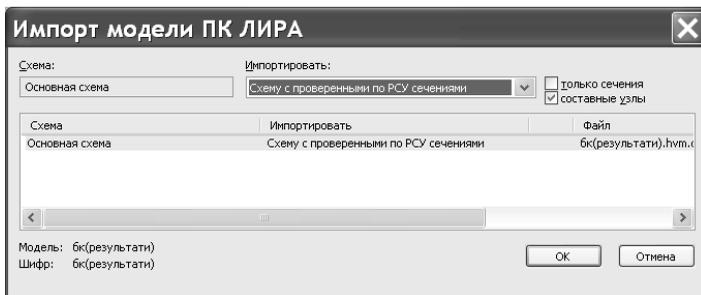


Рис. 2.103 Вікно імпорту схеми СТК-САПР

- Відразу після завершення імпорту схеми КМ-САПР запропонує створити креслення плану будинку. Для цього в **Командному рядку** AutoCAD (рис.2.104) необхідно ввести відмітку, на якій буде згенерований план. Відмітка повинна розміщуватись в межах висоти будівлі. Введіть 2 та натисніть **Enter**. Далі програма запропонує ввести глибину креслення. Введіть 3 і натисніть **Enter**. Далі необхідно ввести масштаб креслення: 1/200 і натиснути **Enter**. Після цього КМ-САПР перейде в простір листа і побудує креслення плану (рис. 2.105).



1. Відмітка 0,000 співпадає з нулем глобальної системи координат розрахункової схеми ПК ЛІРА-САПР. Глибина креслення – відстань від січної площини розрізу, елементи в межах глибини зображуються на кресленні.

2. В старших версіях AutoCAD командний рядок початково схований. Щоб зручніше було слідувати наступним крокам, ми рекомендуємо ввімкнути командний рядок, вибравши з меню **Сервіс** ⇨ **Командная строка**, або натиснувши комбінацію клавіш **Ctrl+9** на клавіатурі. Для зручності пояснень палітра **Лента** і всі панелі інструментів сховані. Вимкнути або ввімкнути палітру **Лента** можна, вибравши з меню **Сервіс** ⇨ **Палитры** ⇨ **Лента**

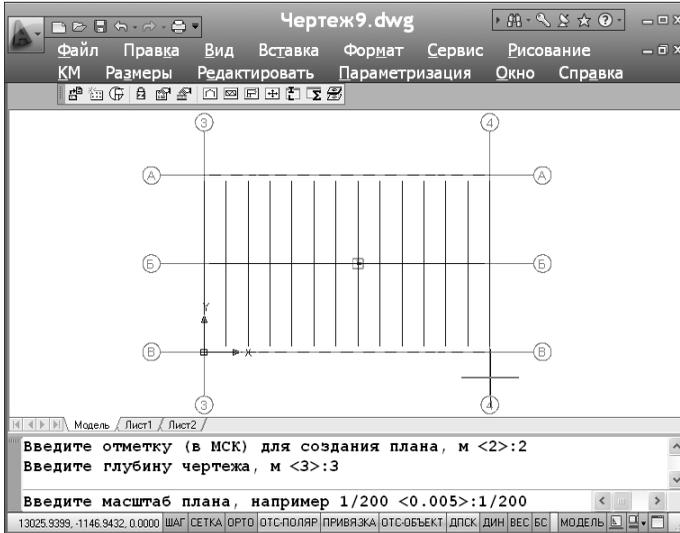


Рис. 2.104 Імпортована модель та автоматична побудова плану

- Вимкніть видимість шару **Рассчитанные узлы**, він нам поки що не знадобиться.

Зміна розмірів листа і додавання штампу

- Виберіть пункт меню **Файл** ⇒ **Диспетчер параметрів листів**. З'явиться вікно **Диспетчер наборів параметрів листів** (рис.2.106).

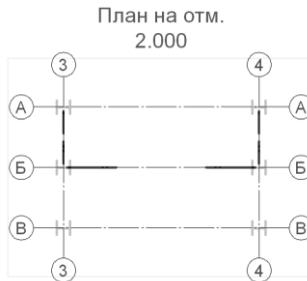


Рис. 2.105 Автоматично побудований план

- В вікні **Диспетчер наборів параметрів листів**, клацніть ***Лист1*** и кнопку **Редактировать**. З'явиться вікно **Параметри листа** (рис.2.107).

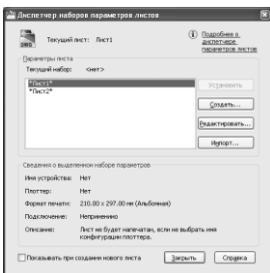


Рис. 2.106 Диспетчер наборов параметров листов

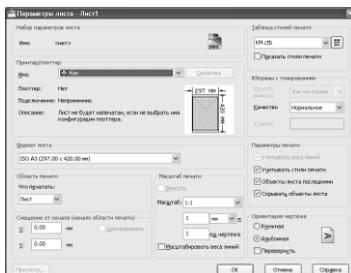


Рис. 2.107 Параметры листа

- В вікні **Параметры листа** знайдіть список **Формат листа** і в списку виберіть рядок **ISO A3 (420.00 x 297.00 мм)**. Решту даних лишіть незмінними. Клацніть кнопку **ОК**.
- Закрийте вікно **Диспетчер наборов параметров листов**.
- Виберіть з меню команду **Файл ⇒ Сохранить** і збережіть документ AutoCAD, який містить схему КМ-САПР, під будь-яким ім'ям, наприклад, **КМ_project.dwg**.
- Щоб обмежити простір листа і випадково не зайняти кресленнями зону штампу, додамо штамп і рамку. Виберіть пункт меню **КМ ⇒ Создать** (кнопка ) на панелі інструментів **КМ**). З'явиться вікно **Создать** (рис.2.108).
- В вікні **Создать** вкажіть рядок **Рабочие чертежи и таблицы** і в вікні **Шаблоны** двічі клацніть на ескізі **Штамп и рамка**. На активному листі буде створена рамка і штамп.



1. *Всі об'єкти КМ-САПР можна створити з вікна **Создать**.*

2. *Не обов'язково користуватись рамкою і штампом, які поставляються саме в складі КМ-САПР, підійде будь-який штамп і рамка.*

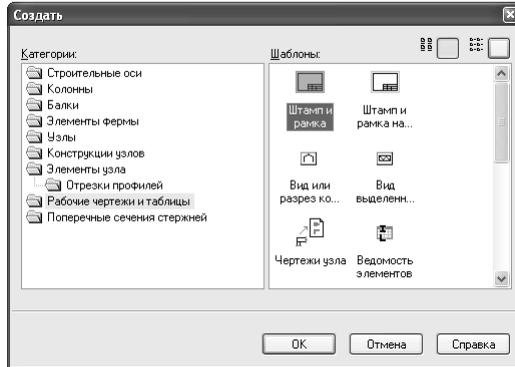


Рис. 2.108 Вікно «Создать»

Створення розрізів

- Виберіть пункт меню **КМ** ⇒ **Чертежи и таблицы** ⇒ **Чертеж вида или разреза** (кнопка  на панелі інструментів **КМ**). КМ-САПР запитає, яке креслення повинно бути вихідним для створення розрізу.
- Щоб вказати вихідне креслення, клацніть по рамці креслення плану і натисніть **Enter**. З'явиться вікно **Создание чертежа** (рис. 2.109).
- У вікні **Создание чертежа** введіть наступні дані: перемикач **план – разрез** – вид встановіть в положення **разрез**; на листе: **Лист1**; **Масштаб: 1:200**; **Имя: 1-1**. Клацніть кнопку **Создать**, щоб підтвердити введення. Далі вікно **Создание чертежа** закриється, і необхідно буде вказати розташування січної площини і глибини розрізу, а також розміщення розрізу на листі.

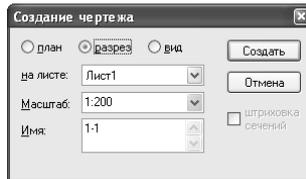


Рис.2.109 Вікно «Создание чертежа»

- Вкажіть кінці січної площини і глибину розрізу як на рис. 2.110, а потім вкажіть прямокутну зону, яку займатиме креслення розрізу (рис. 2.111). Буде створений розріз **1-1**.



Рис. 2.110 Січна площина та глибина розрізу

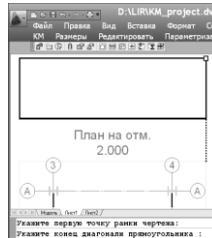


Рис. 2.111 Зона розрізу

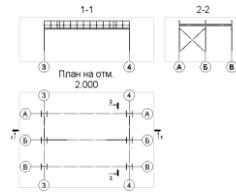


Рис. 2.112 План та розрізи 1-1 та 2-2

- Повторіть дії, створивши розріз 2-2, перпендикулярний розрізу 1-1 (рис. 2.112).

Корегування просторового положення елементів балкової клітки

В розрахунковій схемі ПК ЛІРА-САПР просторове положення елементів балкової клітки було ідеалізованим: осі головних і другорядних балок вважалися розташованими в одній площині з верхом настилу і кінцями колон, а низ колон умовно знаходився на відмітці 0,000. На наступних кроках цього підрозділу ми позбавимось ідеалізуючих спрощень.

- Перейдіть з закладки **Лист1** на закладку **Модель**. Виберіть з меню пункт **Вид** ⇒ **3D види** ⇒ **Спереди**. Гумовою ниткою відмітьте всі головні і другорядні балки.
- Запустіть команду **KM** ⇒ **Свойства** (кнопка  на панелі інструментів KM). З'явиться вікно **Свойства: Стержень**. В вікні **Свойства: Стержень** перейдіть на закладку **Ось вставки** (рис. 2.114).
- Встановіть перемикач **Положение на поперечном сечении** в положення, як показано на рис. 3.13.11. Введіть $Cz = -10$ мм. Таким чином головні і другорядні балки будуть вирівняні по низу настилу (пригадаємо, що верх настилу знаходиться на відмітці +4,100, а настил має товщину 10 мм). Клацніть кнопку **OK**.

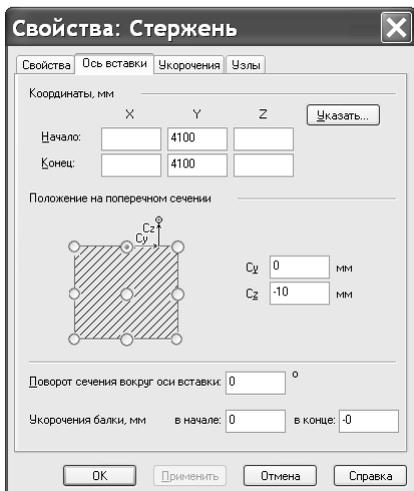


Рис. 2.113 Вирівнювання балок

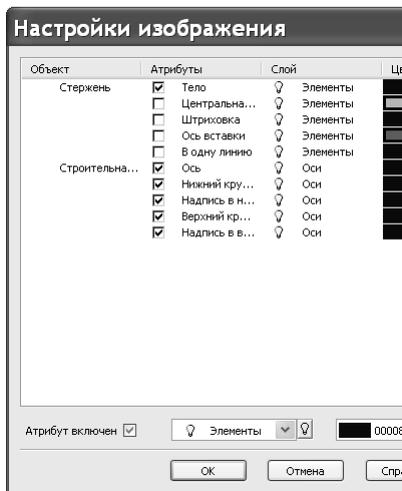


Рис. 2.114 Увімкнення тіл балок

- Щоб пересвідчитись в тому, що вирівнювання балок було правильним, увімкнемо відображення тіл балок: натиснемо комбінацію клавіш **Ctrl+A**, щоб виділити всю модель, виклинемо вікно **Настройки изображения** однойменною командою з меню **КМ** (кнопка  на панелі інструментів **КМ**) і увімкнемо в ньому прапорець **Тело**. При цьому прапорець **В одну линию** можна вимкнути. Клацніть кнопку **ОК**. Тепер збільшимо балки і пересвідчимось, що координата верха балок **4090** мм (відмітка **+4,090**). Двічі клацніть середню кнопку миші, щоб повернутись до нормального масштабу зображення.
- Змінимо відмітку верха і низу колон: виділимо всі колони. Це можна зробити, розтягнувши гумову нитку справа наліво  так, щоб в зону виділення потрапила тільки полиця всіх колон лівого ряду, а потім – тільки полиця колон правого ряду. Щоб виділення не зникло, треба тримати натиснутою клавішу **Shift** на клавіатурі. Далі виклинемо вікно **Свойства: Стержень** командою меню **КМ** ⇨ **Свойства** (кнопка  на панелі інструментів **КМ**).
- Введемо в полі **Начало Y** введемо **-500** мм, а в полі **Конец Y** введемо **2800** мм. Натиснемо **ОК**. Тепер, коли колони і балки

клітки знаходяться в проектному положенні, можна приступати до нанесення розмірів на кресленнях.

Нанесення висотних відміток та розмірів

- Початково на розрізах балки показані в тілі, а колони – в одну лінію. Щоб нанести відмітки колон, необхідно показати колони «в тілі». Тому перейдемо з закладки **Модель** на закладку **Лист1** та двічі клацнемо всередині розрізу 2-2, щоб активізувати його. Рамка розрізу 2-2 стане з салатової темно-зеленою, підтверджуючи активізацію. Далі виділимо всі елементи розрізу 2-2 і викличемо вікно **Настройки изображения** однойменною командою (кнопка  на панелі інструментів **КМ**.) Ввімкнемо в ньому прапорець **Тело** (див. рис. 2.114), а прапорець **В одну линию** вимкнемо. Клацнемо кнопку **ОК**.
- Відкриємо вікно **Создать** (кнопка  на панелі інструментів **КМ**). У вікні **Создать** (рис.2.115) клацнемо рядок **Рабочие чертежи и таблицы**, а потім в списку **Шаблоны** знайдемо і виділимо елемент **Высотная отметка**. Клацнемо кнопку **ОК**. КМ-САПР запропонує ввести точки, відмітки яких слід проставити.
- По черзі клацніть курсором на нижній обріз колони, оголовок колони й верхній пояс головної балки. Відмітки накладаються одна на одну, тому розвернемо стрілки відміток +2,800 та -0,500: виділимо вертикальний відрізок стрілки і перенесемо його верхню точку донизу (рис. 2.117). Щоб головні балки не зливались на кресленні з колонами, зменшимо масштаб відображення головних балок: виділимо головні балки, командою меню **КМ** ⇒ **Свойства** викличемо їхнє вікно **Свойства: Стержень** і на закладці **Свойства**, в полі **Масштаб изображения тела стержня** замість *1* поставимо *0.8* і натиснемо **ОК**. Тепер балки набули форми як на рис. 2.116 Далі наносимо розміри.

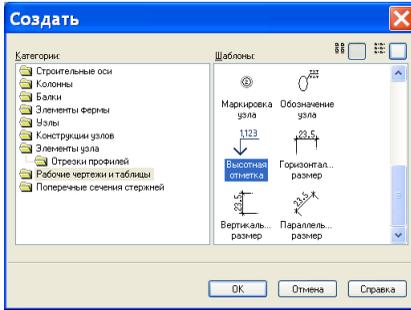


Рис. 2.115 Вікно «Создать»

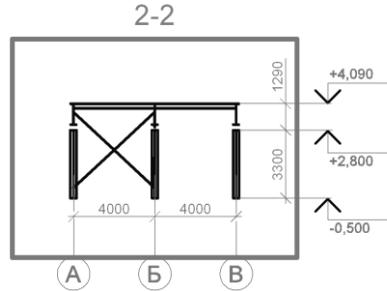


Рис. 2.116 Нанесення відміток і розмірів

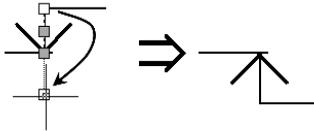


Рис. 2.117 Редагування висотної відмітки

- Знову відкриємо вікно **Создать**, в списку **Шаблоны** знайдемо і виділимо елемент **Горизонтальный размер**. Клацнемо кнопку **ОК**. КМ-САПР запропонує ввести точки, між якими заміряється відстань і точку, де проводити розмірну лінію. Повторіть цю операцію для постановки розмірів між осями, а для постановки розмірів між висотними відмітками використовуйте **Вертикальный размер**. Наше креслення набуде вигляду як на рис. 2.116. Далі можна зробити активним наступне креслення на листі і нанести розміри на нього. Нагадаємо: щоб активувати креслення, необхідно двічі клацнути в середині його рамки.



Ми щойно пересвідчились, що числа на висотних відмітках і розмірах проставляються відповідно до реальних координат будівлі згідно з масштабом креслення. Якби ми використали стандартні інструменти AutoCAD, довелося б ці числа прописувати вручну. Це пов'язане з тим, що КМ-САПР при створенні будь-яких позначень на кшталт розмірів завжди пов'язує їх з активним кресленням. Якби активним було якесь інше креслення, то числа б вираховувались відповідно до координат і масштабу іншого креслення. Тому при роботі з КМ-САПР слід

уважно слідкувати, щоб активним було саме те креслення, на яке наносяться позначення, а не будь-яке інше.

2.13.10 Створення відомості елементів

Ми не будемо включати до відомості елементів деякі існуючі елементи, а саме: настил та зв'язки між колонами. В реальному проектуванні, звичайно, і настил, і зв'язки обов'язково були б у відомості елементів, але в цей навчальний приклад ми їх включати не будемо з наступних причин: зв'язки не були розраховані по СТК-САПР, прийшли в модель КМ-САПР без поперечного перерізу і тому не можуть бути включені в відомість, а сталевий настил взагалі може з'явитися в відомості елементів тільки якщо його дописати вручну, бо КМ-САПР не дозволяє додавати настил в відомість елементів. Щоб не втрачати часу на призначення зв'язкам поперечного перерізу і дописування тексту в таблицю, ми просто пропустимо їх.

Створення марок відомості елементів

- Запустіть команду **КМ** ⇒ **Ведомість елементов** (кнопка  на панелі інструментів **КМ**). Відкриється вікно **Свойства: Ведомість елементов** (рис. 2.117). Далі необхідно створити марки відомості елементів і вивести їх в таблицю.



*Як відомо, відомість елементів – це таблиця, в якій приводяться ескіз елемента, його назва, тобто марка, а також зусилля і т. ін. Особливістю КМ-САПР є те, що кожна що марка відомості елементів обов'язково належить якомусь розділу. Тому, наприклад, щоб створити балку перекриття **Б1**, необхідно спочатку створити розділ **Балки перекриття**, а потім в цей розділ додати балку **Б1**. Навіщо?*



КМ-САПР автоматизує створення двох таблиць: відомість елементів та специфікація металу. Кожен елемент будівлі повинен відобразитися і в першій, і в другій таблиці, тобто кожен елемент має належати якійсь марці відомості елементів і якомусь розділу специфікації металу. Якщо марка відомості елементів

буде відповідати розділу специфікації металу, то нам не доведеться присвоювати елемент двічі: один раз марці відомості, а другий раз розділу специфікації. Саме тому КМ-САПР і вимагає, щоб у кожній марці відомості був свій розділ: включивши елемент в марку відомості ми автоматично відносимо його до відповідного розділу специфікації. Отже, розділи, яким належать марки відомості, є розділами специфікації металопрокату! Перелік розділів, які мають бути в специфікації, визначаються вже не будівельними, а кошторисними нормами: розділи мають відповідати нормами і розцінкам на монтаж різних елементів будівлі, наприклад: «Фахверки», «Зв'язки по колонам» тощо.

- Створимо новий розділ специфікації металопрокату. Клацнемо кнопку **Новый раздел**. З'явиться вікно **Раздел спецификации металлопроката** (рис. 2.119).
- Знайдемо в списку рядок **Балки и щиты рабочих площадок** і виділимо його. В полі **Сокращение** замість *БРП* введемо *Б*. Клацнемо кнопку **Изменить**. Клацнемо кнопку **ОК**. Вікно **Раздел спецификации металлопроката** закриється і в списку **Марки по разделам** з'явиться рядок *Б (Балки и щиты рабочих площадок)*.
- Повторимо два попередні кроки і створимо розділ *К (Колонны)*. Тепер необхідно додати в кожен розділ марки відомості елементів.

Нову марку відомості елементів можна створити, клацнувши кнопку **Новая марка** або **Автоматически маркировать** (рис. 3.13.16). Перша кнопка дозволяє створювати марку вручну, а друга – автоматично розбити на марки виділені на моделі КМ-САПР елементи. В цьому навчальному прикладі ми будемо створювати наші марки автоматично. Отже, для того, щоб автоматично створити марки, нам необхідно виділити елементи моделі КМ-САПР. Можна виділяти елементи, які знаходяться на активному кресленні або на закладці **Модель**. Які ж саме елементи треба виділяти? Треба виділяти *всі* елементи, які мають одну й ту ж марку, щоб КМ-САПР по-перше включила всіх їх до правильного розділу специфікації металопрокату, а по-друге, вибрала *зусилля закріплення* (рис. 3.13.19) з усіх елементів даної марки, а не тільки з

частини. Ми будемо виділяти елементи на закладці **Модель**, щоб випадково не пропустити якогось з них.

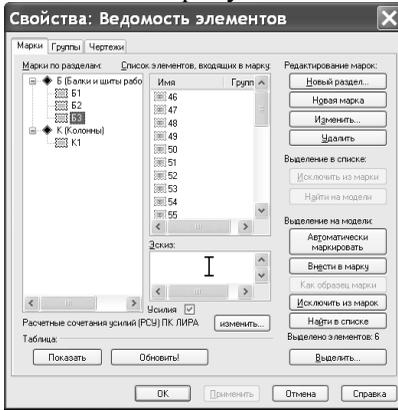


Рис. 2.118 Створення марок відомості елементів



Рис. 2.119 Створення розділів для марок відомості елементів



*Вікно **Свойства: Ведомость элементов** звертається по виділення до активного креслення, або, якщо жодне з креслень не активне, перемикається на закладку **Модель**.*

- Переконаємось, що жодне з креслень не є активним. Для цього закриємо вікно **Свойства: Ведомость элементов** і двічі клацнемо поза рамками креслень. Тепер немає жодного активного креслення. Повернемося до вікна **Свойства: Ведомость элементов**, вибравши з меню **КМ** ⇨ **Ведомость элементов**.
- Клацнемо кнопку **Выделить**. Вікно **Свойства: Ведомость элементов** тимчасово зникне, і активною стане закладка **Модель**. Виділимо всі балки на моделі і натиснемо **Enter**. Вікно **Свойства: Ведомость элементов** знову з'явиться. Виділимо рядок *Б (Балки и шиты рабочих площадок)* у списку **Марки по разделам** і клацнемо кнопку **Автоматически маркировать**. Будуть створені марки *Б1, Б2, Б3*.
- Знову клацнемо кнопку **Выделить**. Вікно **Свойства: Ведомость элементов** тимчасово зникне. Виділимо всі колони на моделі і натиснемо **Enter**. Вікно **Свойства: Ведомость элементов** знову з'явиться. Виділимо рядок *К (Колони)* у списку **Марки по**

разделам і клацнемо кнопку **Автоматически маркировать**. Буде створена марка *K1*. Тепер перейменуємо щойно створену марку *K1* на *K4*.

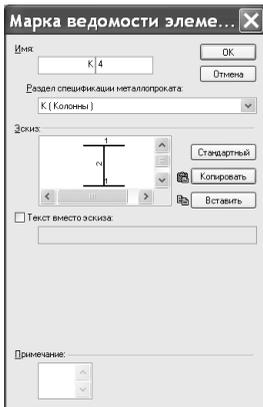


Рис. 2.120

Перейменування марки

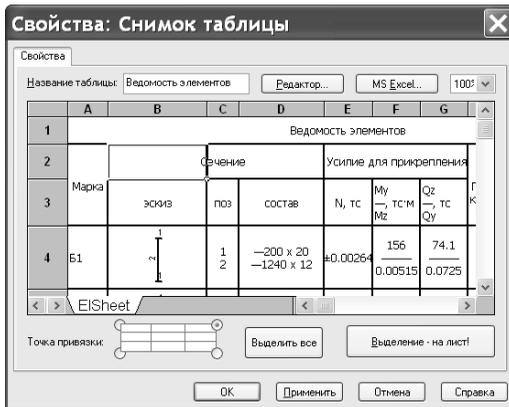


Рис. 2.121 Відомість елементів сформована

- В списку **Марки по разделам** виділіть рядок *K1* клацніть кнопку **Изменить**. Відкриється вікно **Марка ведомости элементов** (рис. 2.120).
- Змінимо ім'я *K1* на *K4*. Клацнемо кнопку **OK**. Всі марки нашої відомості сформовано. Тепер можна сформувати таблицю і розмістити її на листі.
- У вікні **Свойства: Ведомость элементов** клацніть кнопку **Обновить**, щоб сформувати таблицю. Тепер клацніть кнопку **Показать**. Відкриється вікно **Свойства: Снимок таблицы** (рис. 2.121). Залишається помістити таблицю з цього вікна на лист.
- У вікні **Свойства: Снимок таблицы** виділимо весь діапазон, зайнятий даними: *A1:J9*. Далі клацніть кнопку **Выделение на лист**. Вікно закриється, а КМ-САПР вимагатиме ввести положення точки прив'язки таблиці, тобто, згідно з рис. 2.121, її верхньої правої точки. Клацнемо в кутку верхньому правому кутку рамки листа і натиснемо **Enter**. Наша відомість елементів сформована. Залишається промаркувати креслення згідно з відомістю елементів.

Маркування елементів на кресленнях згідно з відомістю елементів

- Відкрийте вікно відомості (кнопка  на панелі інструментів КМ) і перейдіть в ньому на закладку **Чертежи** рис.2.122).
- В списку **Маркировать по данной ведомости на чертежах** встановіть прапорець на початку кожного рядка. Клацніть кнопку **ОК**. Після цього на всіх кресленнях біля кожного елемента виникне назва його марки. Ми трохи підправимо ці написи, щоб вони не накладались один на один.
- Активуємо креслення *План на отм. 2.000*, двічі клацнувши всередині його рамки. Виділимо всі написи *K4* і пересунемо їх так, щоб вони не перетиналися з іншими лініями.

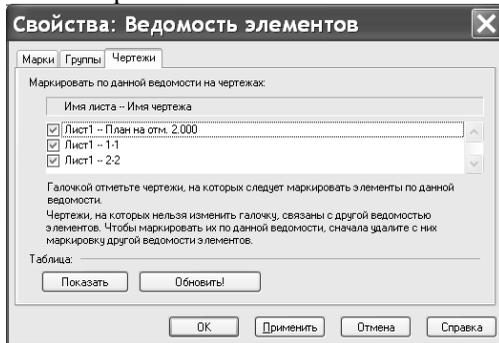


Рис. 2.122 Маркування елементів на кресленнях за відомістю

Активуємо креслення *1-1*, так само двічі клацнувши всередині його рамки. Виділимо написи *B1*, *B2*, *K4* і пересунемо їх донизу. Після перестановок лист з кресленнями має виглядати як на рис. 2.123

2.13.11 Генерація креслень вузлів

На цьому етапі буде виконана автоматичне конструювання і генерація креслень вузлів по результатам розрахунку вузлів СТК-САПР.

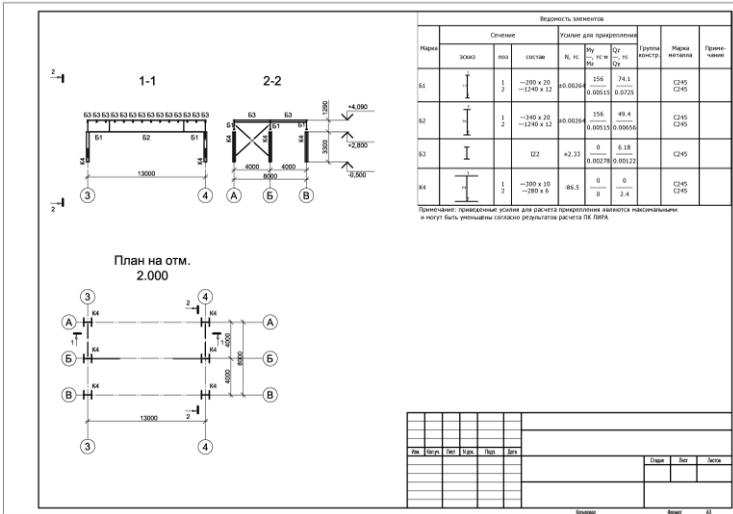


Рис. 2.123 Відомість елементів і промарковані згідно з нею креслення

Генерація креслень складного вузла

Під час імпорту розрахункової схеми програми СТК-САПР автоматично виконується створення моделей вузлів, які входили до розрахункової схеми. Для кожної з таких моделей вузлів створюється новий документ AutoCAD. Під час імпорту нашої розрахункової схеми *БК(результати).hvt* була створена одна модель вузла *Составной узел 1.dwg*. Згенеруємо її креслення.

- Перейдемо в модель вузла. Для цього виберіть пункт меню **Окно** ⇒ **Составной узел 1.dwg** або відкрийте цей файл з меню **Файл**. Модель вузла буде такою, як на рис. 2.124.
- Встановимо розмір листа, на якому будуть згенеровані креслення: А3, книжна орієнтація. Перейдіть з закладки **Модель** на закладку **Лист1**. Виберіть з меню **Файл** ⇒ **Диспетчер параметрів листів**. З'явиться вікно **Диспетчер наборів параметрів листів**. В ньому виберіть **Лист1**, клацніть кнопку **Редактировать**. З'явиться вікно **Параметры листа – Лист1**. В ньому виберіть **Формат листа А3** (або *ISO A3*), **Ориентация чертежа Книжная**. Клацніть **ОК**. Клацніть **Заккрыть**. Перейдіть з закладки **Лист1** на закладку **Модель**.

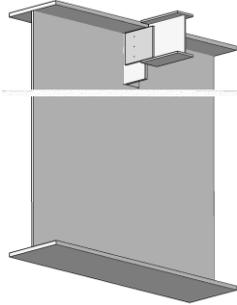


Рис. 2.124 Автоматично імпортована модель вузла «Составной узел I»

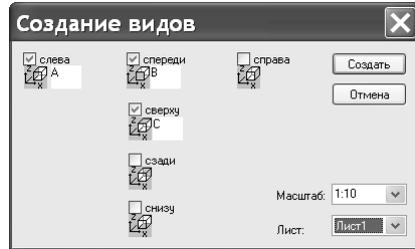


Рис. 2.125 Настройка параметров генерации креслень вузла

- Згенеруємо креслення. Виберемо пункт меню **КМ** ⇒ **Чертежи и таблицы** ⇒ **Чертежи узла** (кнопка  на панелі інструментів **КМ**) З'явиться вікно **Создание видов** (рис. 2.125).
- У вікні **Создание видов** установимо прапорці **слева**, **спереди** и **сверху**, вкажемо **Масштаб 1 : 10**, в списку **Лист** виберемо **Лист 1**. Клацнемо кнопку **Создать**. Вікно **Создание видов** закриється, програма перейде на закладку **Лист1** і вимагатиме вказати прямокутну зону, де слід розмістити креслення на листі.
- Гумовою ниткою вкажіть зону, де будуть розміщуватися креслення. КМ-САПР згенерує креслення (рис.2.127).
В якості прикладу подальшого редагування замінимо вигляд зверху **C** на горизонтальний розріз **I-1**.
- Виділимо креслення **C**, клацнувши його рамку. Виберемо команду меню **КМ** ⇒ **Свойства**. З'явиться вікно **Свойства: Чертеж** (рис. 2.126).
- В полі **Заголовок** введемо **I-1**, в списку **Тип чертежа** виберемо **Разрез**. В полі **Глубина** введемо **2000**, в полі **Z** введемо **500**. В списку об **Обозначить на чертеже** виберіть **B**. Клацнемо **ОК**.

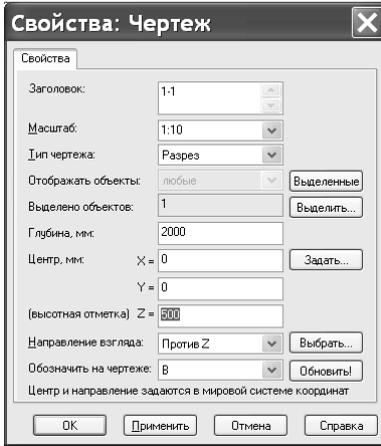


Рис. 2.126 Перетворення вигляду на горизонтальний розріз

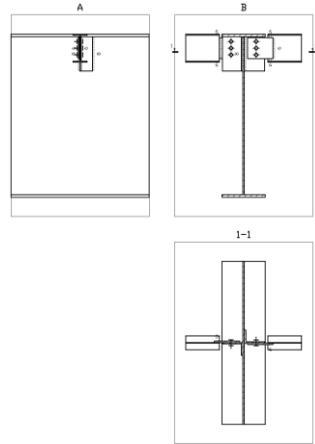


Рис 2.127 Креслення вузла спірання балок

Аналогічно можна позначити вигляди *A* та *B* на розрізі *1-1*, та для економії часу ми пропустимо цю дію. Далі необхідно проставити необхідні розміри і позначення, але, оскільки ця задача надто проста – треба тільки не забувати перед нанесенням розмірів активувати креслення, двічі клацнувши всередині його рамки, – ми не будемо на ній зупинятися.

Імпорт параметричного вузла СТК-САПР

Крім побудови моделей вузлів, включених в розрахункову схему СТК-САПР, програма КМ-САПР здатна будувати моделі і креслення параметричних вузлів, розрахованих в СТК-САПР. Далі ми сформуємо таку модель і її креслення.

- Створіть новий документ AutoCAD, вибравши з меню команду **Файл** ⇒ **Создать**. В вікні **Выбор шаблона** задайте шаблон *acadiso.dwt* і натисніть **Открыть**.
- Імпортуйте розрахунок параметричного вузла. Виберіть команду меню **КМ** ⇒ **Импорт и Экспорт** ⇒ **Импортировать файл** (кнопка  на панелі інструментів **КМ**).
- В вікні **Открыть** виберіть **Тип файлов** *Узлы СТК-САПР (*.jnt)* і виберіть файл *Узел 1-74.jnt*, який ми створили під час розрахунку бази колони в розділі 2.12 цього навчального

посібника. Клацніть **ОК**. По результатам розрахунку, що містяться в файлі *Узел 1-74.jnt* буде побудовано модель вузла. Відразу після цього КМ-САПР запросить лист і масштаб креслень вузла у вікні **Чертежи узла**. Виберіть *Лист1* і масштаб *1:10*. Клацніть **Создать**. Будуть створені креслення вузла з необхідними розмірами та примітками (рис. 2.128).

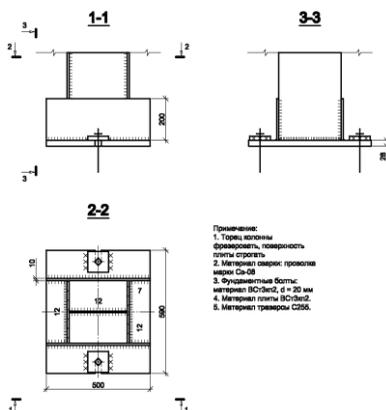


Рис. 2.128 Креслення вузла бази колони

- Збережемо файл з кресленнями вузла бази колони. Виберемо з меню **Файл** ⇒ **Сохранить как** і збережемо файл з кресленнями вузла під іменем *Узел 1-74.dwg*.

Перенос креслень вузлів на листи креслень балкової клітки

Досить незручно, коли креслення будівлі знаходяться в одному файлі, а креслення вузлів – в іншому. Тому перенесемо креслення наших вузлів до креслень балкової клітки.

- Перейдіть до файлу *КМ_project.dwg*, вибравши з меню **Окно** ⇒ **КМ_project.dwg**.

Виберіть пункт меню **КМ** ⇒ **Узлы** (кнопка  на панелі інструментів **КМ**). Відкриється вікно **Конструкции узлов** (рис. 2.129). В цьому вікні приводиться список вузлів, нашої балкової клітки. Початково в списку вже є вузол *Составной узел I*, який був згенерований автоматично під час імпорту розрахункової схеми.

- Імена вузлів приводяться на кресленнях, тому перейменуємо вузол *Составной узел I* на римську цифру *I*. Для цього в полі **Имя** введемо замість латинську літеру *I*.

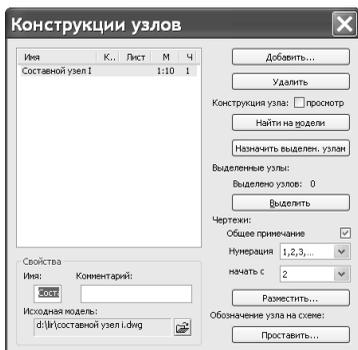


Рис. 2.129 Вузлы балкової клітки

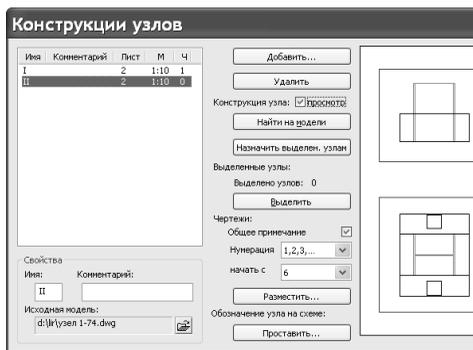


Рис. 2.130 Ескізи виділеного в списку вузла

- Додамо до списку вузлів щойно імпортований вузол *Узел 1-74.dwg*. Клацнемо кнопку **Добавить** ⇒ **Модель узла ЛИРА-КМ** і виберемо зі стандартного вікна вибору файлів файл *Узел 1-74.dwg*. В список конструкцій вузлів додається рядок *II*. Виділимо його та ввімкнемо прапорець **просмотр**, щоб пересвідчитись, що ми підключили правильний вузол. Справа виникнуть спрощені креслення вузла бази колони.
- Перенесемо креслення вузлів *I* та *II* на креслення балкової клітки. Закриємо вікно **Конструкции узлов**. Перейдемо на Лист2. Встановимо розмір листа A2: меню **Файл** ⇒ **Диспетчер параметров листов, *Лист2***, **Редактировать**, **Формат листа A2** або **ISO A2**, **ОК**, **Заккрыть**. Створимо на листі рамку: меню **КМ** ⇒ **Создать**, **Рабочие чертежи и таблицы**, **Штамп и рамка**, **ОК**. Знову відкриємо вікно **Конструкции узлов** (див. рис. 2.130), вибравши з меню **КМ** ⇒ **Узлы**. Виберемо в списку вузол *I*. Клацнемо кнопку **Разместить**. Вкажемо місце розташування креслень вузла *I*. Потім виберемо в списку вузол *II*, клацнемо кнопку **Разместить** і вкажемо місце креслень вузла *II*. Закриємо вікно **Конструкции узлов**. В результаті лист 2 виглядатиме приблизно як на рис. 2.131.

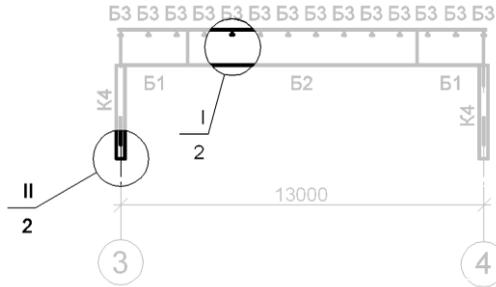


Рис. 2.132 Нанесені на розріз позначення вузлів

2.13.12 Створення специфікації металу

Завдяки інструменту **Діагностика помилок** побудова специфікації може виглядати як ітеративний процес. Ми будуємо специфікацію, при цьому спрацьовує діагностика. Ми переглядаємо діагностичні повідомлення, виправляємо помилки і знову генеруємо специфікацію + діагностику. Процес продовжується доти, доки специфікація не досягає прийнятної точності. Саме так ми й вчинимо в нашому навчальному прикладі.

Генерація специфікації металу, перша ітерація

- Виберіть пункт меню **КМ** ⇒ **Чертежи и таблицы** ⇒ **Спецификация металлопроката** (кнопка  на панелі інструментів **КМ**). Відкриється вікно **Спецификация металлопроката** (рис. 2.133).

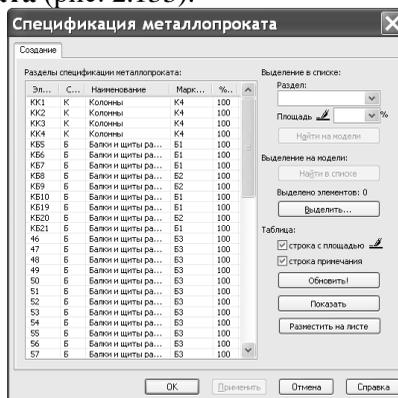


Рис. 2.133 Створення специфікації металу

- Клацнемо кнопку **Обновить**. При цьому відкриється вікно діагностики зі знайденими помилками (рис. 2.134) і повідомлення: «Обнаружены ошибки продолжит создание спецификации металлопроката?». Клацніть **Так**, щоб закрити повідомлення і продовжити створення специфікації. Після цього вікно з помилками буде мінімізоване.

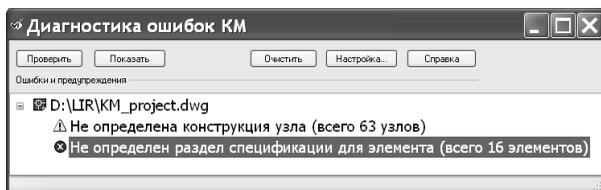


Рис. 2.134 Діагностика під час генерації специфікації

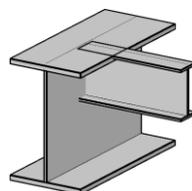


Рис. 2.135 «Дифузія» у вузлі

Давайте проглянемо діагностичні повідомлення. Перша помилка *Не определена конструкция узла* пов'язана ось з чим. Вихідна схема нашої будівлі була побудована з розрахункової схеми СТК-САПР, в якій всі елементи починаються і закінчуються у вузлах розрахункової схеми, тобто тіла балок перетинаються. На рис. 2.135 добре видно, що тіло другорядної балки заходить у тіло головної. Якщо нічим цьому не зарадити, то при побудові специфікації металу ми врахуємо зайву довжину балок, якої насправді не існує. З іншого боку ми не врахуємо масу з'єднувальних пластин і кутиків, які використовуються у вузлах. Далі ми спробуємо виправити ці помилку, призначивши вузлам їхню конструкцію. Друга помилка *Не определен раздел спецификации для элемента* стосується зв'язків, які не мають поперечного перерізу і на входять в марки відомості елементів. Отже, щоб позбавитись помилки *Не определена конструкция узла*, призначимо вузлам конструкцію.

Вважатимемо, що вузол *Узел 1-74*, який ми розрахували в СТК-САПР в розділі 2.12 цього навчального посібника годиться для всіх баз колон, а вузол *Составной узел I* підходить для всіх опирань другорядних балок. Для того, щоб легше було далі працювати з вузлами, перенесемо всі вузли-бази колон і всі вузли-опирання другорядних балок в шар *Рассчитанные узлы*.

- Перейдемо на закладку **Модель**.
- Ввімкніть видимість шарів *Узлы* і *Рассчитанные узлы*. Вузли будуть зображені як кубики зі значком системи координат всередині (рис. 2.136).

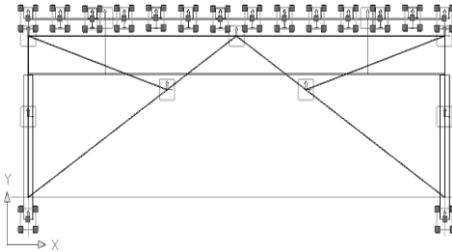


Рис. 2.136 Вузли на моделі КМ-САПР

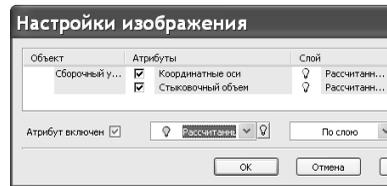


Рис. 2.137 Зміна шару розрахованих вузлів

- Виділіть всі вузли - бази колон та всі вузли - опирання другорядних балок.
- Призначте їм шар *Рассчитанные узлы*. Це зручніше зробити з вікна **Настройки изображения**. Викличте вікно командою **КМ** ⇨ **Настройки изображения**, виділіть в ньому атрибути *Координатные оси* та *Стыковочный объем* і зі списку шарів виберіть *Рассчитанные узлы* (рис. 2.137). Клацніть **ОК**.
- Далі вимкніть шар *Узлы*, щоб він більше не заважав.

Призначення перетинам елементів вузлів і встановлення вузлів в проектне положення

- Виділіть всі вузли – бази колон.
- Викличте вікно властивостей виділених вузлів з меню **КМ** ⇨ **Свойства** (рис. 2.138). В списку **Конструкция** виберіть рядок *II*. Таким чином ми призначили конструкцію вузлам. Призначення вузлам конструкції достатньо, щоб скорочення, подовження елементів у вузлі та з'єднувальні елементи вузла урахувалась в специфікації металу.



*Конструкцію вузлам можна призначити також з вікна **Конструкции узлов**, яке відкривається по команді **КМ** ⇨ **Узлы** (див. рис. 3.13.28). В ньому для призначення вузлам конструкції слід використати кнопку **Назначить выделенным узлам**.*

- Згідно з умовою нам необхідно помістити нижній обріз плити бази колони на відмітку $-0,500$. Тому центр вузла, який співпадає з верхом плити повинен стати на відмітку $-0,500 + 0,028 = -0,472$, де $0,028$ м – товщина фундаментної плити бази колони. Щоб перемістити центр вузла на відмітку $-0,472$, перейдемо на закладку **Система координат** (рис. 3.13.37) і в полі **Начало координат Z** введемо -472 . Клацнемо **ОК**.

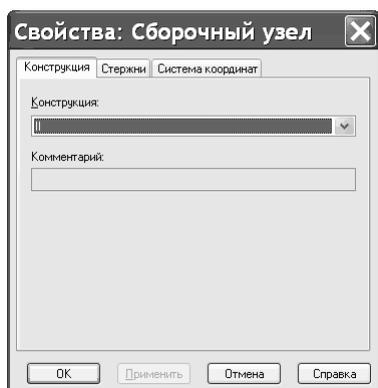


Рис. 2.138 Призначення вузлам конструкції

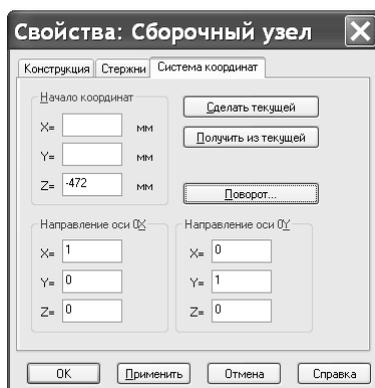


Рис. 2.139 Переміщення центру вузла в проектне положення

Тепер призначимо конструкцію вузлам опирання другорядних балок.

- Виділіть всі вузли опирання другорядних балок.
- Викличте вікно властивостей виділених вузлів з меню **КМ** ⇒ **Свойства** (див. рис. 2.138). В списку **Конструкция** виберіть рядок **I**. Конструкцію вузлам призначена.

Якщо ми зараз клацнемо **ОК** і спробуємо знову згенерувати специфікацію металу, КМ-САПР видасть помилку *Не удастся найти элемент узла I, соответствующий элементу здания XXX*, де **XXX** – всі балки, які сходяться в вузлі. Це відбудеться тому, що ми не розмістили систему координат «кубика» – умовного позначення вузла так, щоб вона співпала з системою вузла моделі вузла. Повертаючись до файлу *Составной узел I.dwg*, ми побачимо, що центр вузла співпадає з центральною віссю головної балки, вісь **X** паралельна осі другорядної балки, а вісь **Y** паралельна осі головної

балки. В системі координат кубика навпаки, вісь X паралельна осі головної балки, а вісь Y паралельна осі другорядної балки. Виходить, що система координат «кубика» розвернута на 90° ! Тому ми не будемо відразу регенерувати специфікацію, а спочатку розмістимо систему координат правильно.

- Перейдемо на закладку **Система координат** (див. рис. 2.139) і в полі **Начало координат Z** введемо **3450**. Це число – відмітка центру вузла – тепер співпадає з центральною віссю головної балки, так само як і в моделі вузла *Составной узел I.dwg*. Тепер розвернемо наш вузол на 90° . Якщо осі системи координат вузла направлені $X=(1,0,0)$, $Y=(0,1,0)$, то щоб повернути їх на 90° треба дати їм координати: $X=(0,1,0)$ а $Y=(-1,0,0)$. Введемо нове положення системи координат (рис. 2.140) і клацнемо **ОК**.

Генерація специфікації металу, друга ітерація

Спробуємо ще раз згенерувати специфікацію.

- Відкриємо вікно **Спецификация металлопроката** з меню **КМ** ⇒ **Чертежи и таблицы** ⇒ **Спецификация металлопроката** (див. рис. 2.133) і натиснемо кнопку **Обновить**. Знову проаналізуємо діагностичні повідомлення.

Діагностичних повідомлень стало набагато більше.

1. Повідомлення *Не определена конструкция узла (всего 63 узлов)* тепер виглядає так: *Не определена конструкция узла (всего 15 узлов)*. Зрозуміло, ми тільки що призначили кільком вузлам їхню конструкцію.

2. Повідомлення *Не определен раздел спецификации для элемента (всего 16 элементов)* не змінився. Звичайно, бо ми нічого не робили зі зв'язками.

3. З'явилося багато нових повідомлень *Не удастся найти элемент узла I (або II), соответствующий элементу здания XXX*.

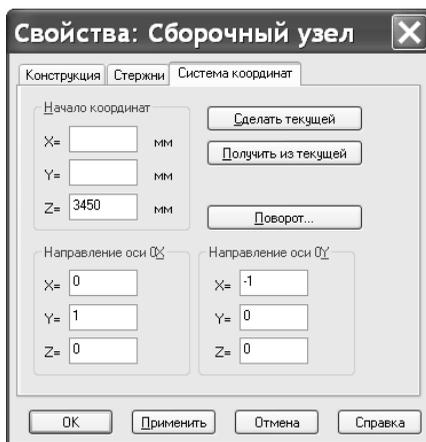


Рис. 3.140 Переміщення і поворот системи координат вузла I

Закриємо вікно **Специфікація металопроката**, виділимо одне з таких повідомлень у списку клацнемо кнопку **Показати** (рис. 2.141). Перейдемо у вікно AutoCAD. Ми побачимо, що один з вузлів, якому призначена конструкція *II*, а також прилягаючий до нього зв'язок виділені і обведені колом (рис. 2.142). Тобто це повідомлення свідчить про те, що в моделі вузла відсутній зв'язок, який є в моделі нашої балкової клітки. Оскільки ми не збираємось добудовувати додаткові елементи в моделі вузла *II*, залишимо такі повідомлення без уваги.

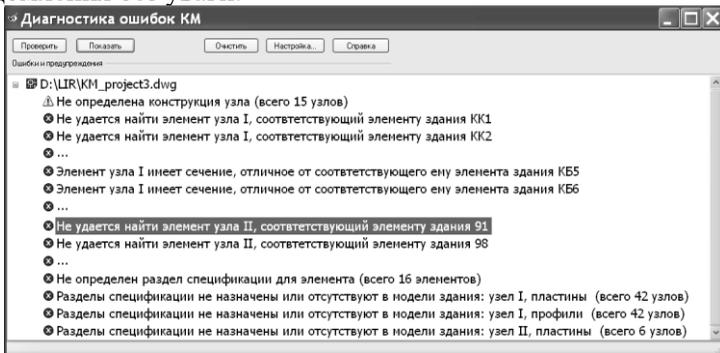


Рис. 2.141 Діагностика під час генерації специфікації металу, друга ітерація

4. З'явилося повідомлення *Разделы спецификации не назначены или отсутствуют в модели здания: узел I (або II), пластины (або профили) (всего XXX узлов)*. Це повідомлення викликане тим, що з'єднувальним елементам не призначені розділи специфікації. Цю помилку ми можемо виправити.

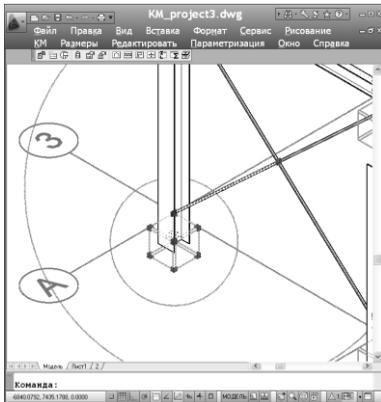


Рис. 2.142 Виділення зони помилки

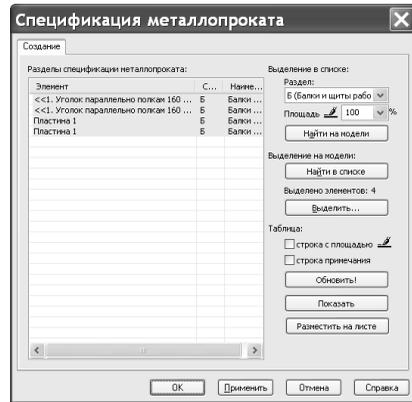


Рис. 2.143 Призначення розділів специфікації елементам вузла

Призначення з'єднувальним елементам вузлів розділів специфікації металу

- Перейдемо на лист 2.
- Активуємо будь-яке креслення вузла *I*, двічі клацнувши всередині його рамки.
- Відкриємо вікно **Спецификация металлопроката** з меню **КМ** ⇒ **Чертежи и таблицы** ⇒ **Спецификация металлопроката**.
- З'явиться вікно **Спецификация металлопроката** (рис. 2.143).
- Виділимо всі елементи в списку **Разделы спецификации металлопроката** всі елементи і призначимо їм розділ *Б* (*балки и щиты рабочих площадок*) у списку **Раздел**. Клацнемо **ОК**.
- Тепер те саме зробимо з вузлом *II*.
- Активуємо будь-яке креслення вузла *II*, двічі клацнувши всередині його рамки.
- Відкриємо вікно **Спецификация металлопроката** з меню **КМ** ⇒ **Чертежи и таблицы** ⇒ **Спецификация металлопроката**.
- Виділимо всі елементи в списку **Разделы спецификации металлопроката** всі елементи і призначимо їм розділ *К* (*колонки*) у списку **Раздел**. Клацнемо **ОК**. Готово!

Генерація специфікації металу, третя ітерація

- Перейдемо на закладку **Модель**.

- Відкриємо вікно **Спецификация металлопроката** з меню **КМ** ⇒ **Чертежи и таблицы** ⇒ **Спецификация металлопроката** (див. рис. 2.133) і натиснемо кнопку **Обновить**. Знову проаналізуємо діагностичні повідомлення.

Список повідомлень (див. рис. 2.141) не змінився, за винятком того, що останні повідомлення *Разделы спецификации не назначены или отсутствуют в модели здания: узел I (або II), пластины (або профили) (всего XXX узлов)* зникло, бо ми тільки що призначили з'єднувальним елементам вузла розділ специфікації металу. Тепер переглянемо згенеровану таблицю.

- Клацнемо кнопку **Показать** у вікні **Спецификация металлопроката**. Відкриється вікно **Formula One Workbook Designer** (рис. 2.144). Як видно, стовпчик 12 специфікації пустий. Це викликане тим, що в моделі є елементи а саме, зв'язки, яким розділ специфікації не присвоєний.

Оскільки зараз ми використали вже всі готові вихідні дані, то на цьому ми перервемо ітеративний процес уточнення специфікації металу. Повну специфікацію можна було б отримати одним з двох шляхів: або уточнювати модель в програмі КМ-САПР і поступово позбавитись від повідомлень про помилки (див. рис. 2.141), або доповнити таблицю специфікації вручну. Останнє можна зробити чи прямо в вікні **Formula One Workbook Designer**, чи вибрати з меню цього вікна пункт **File** ⇒ **Write**, далі в стандартному діалозі збереження файлу вибрати тип файлу *Excel 5 (*.xls)*, зберегти таблицю в цьому форматі і продовжити редагування таблиці в програмі Microsoft Excel. Ми ж в нашому навчальному прикладі завершимо роботу над специфікацією тим, що розмістимо її на на листі креслень.

1	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	І	М	Колонны	Л	М	Н
2	Вид профіля і ГОСТ, ТУ	Марка металу і ГОСТ	Обозначення і розмір профіля	№ п/п	марки металу	вида профіля	розміра профіля	Кількост, шт	Длина, мм	Маса металу по з'єднаній конструкції, т				Примечание
3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
4	Двутавр с неравнополочными	C245 ГОСТ 27772-88	122	3							2,56		2,56	
5	равными полкам ГОСТ 8239 - 72*	Итого		1							2,56		2,56	
6	Всего профіля			3							2,56		2,56	
7	Прокал листовый	ВСт3п2 ГОСТ 380-71*	t=20	4						0,03			0,03	
8	горячекатаный ГОСТ 19003 -		t=28	5						0,39			0,39	
9	74*	Итого		6						0,41			0,41	
10		C255 ГОСТ 27772 - 88	t=10	7						0,09	0,22		0,31	
11		Итого		8						0,09	0,22		0,31	
12	Всего профіля			9						0,50	0,22		0,72	
13	Прокал листовый горячекатаный	C245 ГОСТ 27772-88	-1240 x 12	10							5,00		5,00	
14	толщиной 2,5...25 мм ГОСТ		-200 x 20	11							1,15		1,15	
15	19003 - 74*		-200 x 6	12						0,26			0,26	
16			-300 x 10	13						0,92			0,92	
17			-340 x 20	14							2,63		2,63	
18		Итого		15						1,18	8,78		9,96	
19	Всего профіля			16						1,18	8,78		9,96	
20	уголок неравнополочный ГОСТ	1957 гр.1 ТУ 14-1-3023-80	1160 x 100 x 12	17							0,53		0,53	
21	8510 - 72			18							0,53		0,53	
22	Всего профіля			19							0,53		0,53	
23	Всего масса металла			20						1,69	12,09		13,78	
24	в том числе по маркам	1957 гр.1 ТУ 14-1-3023-80		21							0,53		0,53	
25		C245 ГОСТ 27772-88		22							2,96		2,96	
26		ВСт3п2 ГОСТ 380-71*		23						0,41			0,41	
27		C245 ГОСТ 27772-88		24						1,18	8,78		9,96	
28		C255 ГОСТ 2772 - 88		25						0,09	0,22		0,31	
29	Площадь поверхности конструкций, подлежащая защите от коррозии: 310,5 кв.м													

Рис. 2.144 Згенерована специфікація металу

Розміщення специфікації металопрокату на листі креслень

- Закриємо вікно **Спецификация металлопроката**.
- Створимо новий лист креслень. Клацнемо правою клавішею миші на одну з закладок **Модель** чи **Лист1**, щоб викликати контекстне меню. З меню виберемо пункт **Новый лист**.
- Двічі клацнемо по ярлику нового листа і перейменуємо лист на 3.
- Перейдемо на новий лист.
- Встановимо розмір нового листа А3. Виберемо меню **Файл** ⇒ **Диспетчер параметров листов, *3***, **Редактировать**, **Формат листа А3** або **ISO А3**, **ОК**, **Закорыть**.
- Створимо на листі рамку: меню **КМ** ⇒ **Создать**, **Рабочие чертежи и таблицы**, **Штамп и рамка**, **ОК**.
- Розмістимо на новому листі специфікацію металу. Відкриємо вікно **Спецификация металлопроката** з меню **КМ** ⇒ **Чертежи и таблицы** ⇒ **Спецификация металлопроката** (див. рис. 2.133) і натиснемо кнопку **Разместить на листе**. З'явиться вікно **Снимок таблицы** (див. рис. 2.142). В ньому клацнемо кнопку **Выделить все**, а потім кнопку **Выделение - на лист**. КМ-САПР зажадає ввести точку прив'язки таблиці. Клацніть верхній лівий кут рамки листа. Специфікація розміщена (рис. 3.13.45).



Незважаючи на те, що створення таблиці специфікації металу можливо в будь-який момент роботи з моделлю будівлі, найбільш точною вона буде, якщо максимально врахувати конструкцію вузлів: скорочення балок в вузлах і з'єднувальні елементи вузла. В нашому прикладі в специфікацію металу не ввійшов настил, а також зв'язки між колонами з тих самих причин, з яких вони не потрапили до відомості елементів: настил відсутній, а зв'язки не були розраховані. Крім того, до специфікації не потрапили ребра жорсткості головної балки, монтажний вузол головної балки та вузол опирання головної балки на колону. Тому наша специфікація, звісно, вийшла неповною. Та оскільки перед навчальним прикладом стоїть не задача розрахувати точно витрати сталі, а лише навчити це робити, ми не будемо доповнювати модель новими елементами та вузлами, а зупинимось на специфікації, яка включає тільки колони, балки, бази колон та вузли опирання другорядних балок.

2.13.12 Підготовка і друк креслень

Друк креслень ЛІРА-КМ в AutoCAD має деякі особливості, пов'язані з тим, що ці креслення складаються не з ліній, а з тривимірних об'єктів: перед друком слід на кожному листі креслень встановити правильне значення прапорця **Скривать объекты листа**. Цей прапорець насправді мав називатися «Друкувати невидимі лінії», бо він вмикає чи вимикає видимість ліній, затулених об'єктами, розташованими попереду. Дивним ефектом прапорця **Скривать объекты листа** є те, що коли він увімкнений на якомусь листі, таблиці КМ-САПР, розташовані на цьому ж листі, не друкуються. Тому на листі 1 та листі 3 слід вимкнути прапорець **Скривать объекты листа**, оскільки там є таблиці (меню **Файл** ⇒ **Диспетчер параметров листов** – *Лист1* (або *3*) – **Редактировать** – **Скривать объекты листа** – **ОК** – **Закреть**), а на листі 2 – залишити прапорець увімкненим.

Але хоча друк і можна виконувати відразу, просто встановивши прапорець **Скривать объекты листа**, та перед друком, звичайно, хотілося б трохи підправити креслення: де змінити штриховку, де пересунути написи, що перекриваються тощо. Крім того, невидимі

лінії в кресленнях вузлів хотілося б не приховати, а показати штриховими лініями. Навпаки, на розрізах балкової клітки хотілося б приховати невидимі лінії, але це неможливо, бо тоді зникнуть і таблиці. Щоб запобігти плутанині і труднощам при друку, рекомендується перед друком перетворити креслення КМ-САПР за допомогою команди **Преобразовать в плоский**. Ця команда заміняє тривимірні об'єкти креслень КМ-САПР на звичайні плоскі лінії, які набагато простіше доопрацьовувати. Команда **Преобразовать в плоский** може або взагалі видалити невидимі лінії, або замінити їх на відповідні штрихові.

Отже, перетворимо наші креслення на плоскі.

- Перейдемо на лист 1.
- Виберемо команду **КМ** ⇒ **Чертежи и таблицы** ⇒ **Преобразовать в плоский** (кнопка  на панелі інструментів **КМ**). КМ-САПР вимагатиме виділити креслення, що слід перетворити. Виберемо всі креслення і натиснемо **Enter**.
- У вікні-запиті «Вы уверены, что хотите завершить редактирование чертежа 1-1, 2-2, План на отм. 2.000?» Клацніть **Так**. На питання «Прорисовывать невидимые линии?» дайте відповідь *Нет*.
- Переконайтесь, що відомість елементів буде друкуватися. Виберіть пункт меню **Файл** ⇒ **Диспетчер параметров листов**. З'явиться вікно **Диспетчер наборов параметров листов** (див. рис.3.13.4). В вікні **Диспетчер наборов параметров листов**, клацніть **Лист1** і кнопку **Редактировать**.
- З'явиться вікно **Параметры листа** (див. рис.2.107). В вікні **Параметры листа** зніміть прапорець **Скрывать объекты листа**. В списку принтерів виберіть відповідний принтер, наприклад віртуальний принтер *DWF6 ePlot.pc3*. Виберіть відповідну таблицю стилів друку, наприклад монохромну таблицю *KMmonochrome.ctb* або *monochrome.ctb*. Клацніть кнопку **ОК**. Закрийте вікно **Диспетчер наборов параметров листов**. Виберіть з меню команду **Файл** ⇒ **Предварительный просмотр**. Лист має виглядати як на рис. 2.145.
- Тепер зробимо те саме з листом 2. Перейдемо на лист 2. Виберемо команду **КМ** ⇒ **Чертежи и таблицы** ⇒ **Преобразовать в плоский** (кнопка  на панелі інструментів **КМ**). КМ-САПР вимагатиме виділити креслення, що слід

перетворити. Виберемо всі креслення і натиснемо **Enter**. У вікні-запиту «Вы уверены, что хотите завершить редактирование чертежа 1, 2, 3-3, 4-4, 5-5, 6-6?» Клацніть **Так**. На питання «Прорисовывать невидимые линии?» дайте відповідь *Да*. Виберіть з меню команду **Файл** ⇨ **Предварительный просмотр**. Лист має виглядати як на рис. 2.146.

- На листі 3 немає креслень, тому досить просто вимкнути у ньому прапорець **Скрывать объекты листа**. Перейдемо на лист 3. Виберемо меню **Файл** ⇨ **Диспетчер параметров листов**. З'явиться вікно **Диспетчер наборов параметров листов** (див. рис.2.106). В вікні **Диспетчер наборов параметров листов**, клацніть *3* і кнопку **Редактировать**.
- З'явиться вікно **Параметры листа** (див. рис.2.107). В вікні **Параметры листа** зніміть прапорець **Скрывать объекты листа**. В списку принтерів виберіть відповідний принтер, наприклад віртуальний принтер *DWF6 ePlot.pc3*. Клацніть кнопку **ОК**. Закрийте вікно **Диспетчер наборов параметров листов**. Виберіть з меню команду **Файл** ⇨ **Предварительный просмотр**. Лист має виглядати як на рис. 2.147



*Якщо таблиця не надрукувалась як слід, можливо, треба зменшити її розмір в пам'яті друкуючого пристрою. Виділіть таблицю специфікації і викличте вікно **Свойства AutoCAD** командою **Редактирование** ⇨ **Свойства**. В рядку **Качество печати** цього вікна замініть значення **Сложная графика** (наприклад, **фотография**) на **Монохромное** (наприклад, **таблица**).*

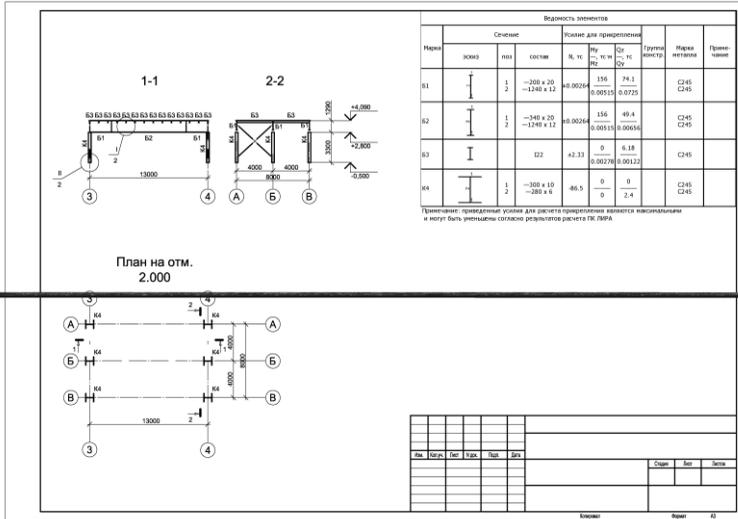


Рис. 2.145 Креслення балкової клітки після команди «Преобразовать в плоский». Невидимі лінії видалені

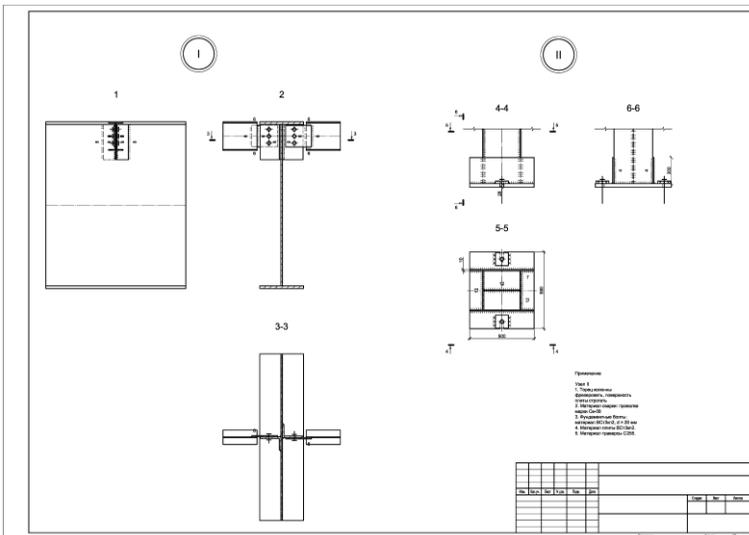


Рис. 2.146 Креслення вузлів після команди «Преобразовать в плоский». Невидимі лінії показані

Вид профиля и ГОСТ, ТУ	Марка металла и ГОСТ	Обозначение и размер профиля	№ шт	Код					Масса металла по элементам конструкции, т					Примечание
				материал	вид	размер	Колес-тво, шт	Длина, мм	Колески	Балки и щиты рабочих площадок	Общая масса, т			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Двутавр с неравными полками	S245 ГОСТ 27772-88	022												
равны по ГОСТ 8239 - 74*			1									2,56	2,56	
Итого			2									2,56	2,56	
Всего профилей			3									2,56		
Прокат листовой	ВСт3п2 ГОСТ 380-71*	01-20	14							0,02			0,02	
нормального ГОСТ 19903 - 74*	01-28		5							0,39			0,39	
Итого			6							0,41			0,41	
Всего профилей	S255 ГОСТ 27772 - 88	01-10	7							0,09	0,27		0,31	
Прокат листовой нормального			8							0,09	0,27		0,31	
размера ГОСТ 19903 - 74*			9							0,50	0,72		0,72	
Итого			10							0,60	0,96		0,96	
Всего профилей	S245 ГОСТ 27772-88	—140 x 12	10								1,15		1,15	
Прокат листовой нормального		—200 x 20	11							0,26			0,26	
размера ГОСТ 19903 - 74*		—280 x 6	12							0,52			0,52	
Итого		—300 x 10	13							1,18	2,63		2,63	
Всего профилей		—340 x 20	14							1,18	8,78		9,96	
Итого			15							1,18	8,78		9,96	
Всего профилей			16							1,18	8,78		9,96	
Уголок чернометаллический ГОСТ	88Г2 ст.1 ТУ 14-1-3023-80	1160 x 100 x 12	17								0,53		0,53	
88Г10 - 72			18								0,53		0,53	
Итого			19								0,53		0,53	
Всего профилей			20							1,69	13,09		13,78	
Всего массы металла			21								0,53		0,53	
В том числе по маркам	88Г2 ст.1 ТУ 14-1-3023-80		22								2,56		2,56	
	ВСт3п2 ГОСТ 380-71*		23							0,41			0,41	
	S245 ГОСТ 27772-88		14							1,18			9,96	
	S255 ГОСТ 27772 - 88		25							0,09	0,27		0,31	

Площадь поверхности конструкций, подлежащих защите от коррозии: 310,5 кв.м

Рис. 2.147 Специфікація металопрокату

2.14. Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи

1. Опишіть алгоритм моделювання балки.
2. Опишіть характеристики діалогового вікна задання жорсткостей елементам схеми.
3. Опишіть характеристики діалогового вікна «Створення регулярних фрагментів і мереж».
4. За допомогою якого діалогового вікна можна проставити розміри на створеній геометричній схемі?
5. Для чого потрібні розрахункові перерізи?
6. Які додаткові характеристики задаються при конструюванні елементів?
7. Опишіть задання листового прокату в програмі «Сортамент».
8. Які ви знаєте основні операції програми РС-САПР («Сортамент»)?
9. Опишіть докладно таблицю результатів конструювання балки.
10. Опишіть як перевірити результати автоматизованого розрахунку.
11. Опишіть загальну схему розрахунку та проектування конструкцій.
12. Що є результатом перевірки перерізу ?
13. Як знаходяться прогини і як здійснюється перевірка прогину?
14. Як здійснюється розрахунок поясних з'єднань?
15. Опишіть засоби корегування схеми.
16. Для чого потрібно уніфікувати елементи?
17. Для чого необхідно створення конструктивних елементів?
18. Опишіть алгоритм розрахунку і конструювання простого вузла сполучення балок.
19. Опишіть алгоритм розрахунку і конструювання складеного вузла сполучення балок.
20. Опишіть алгоритм розрахунку бази колони в СТК-САПР та конструювання простого вузла.
21. Як здійснюється імпорт результатів розрахунку з програми СТК-САПР в програму КМ-САПР?
22. В якому вікні створюються об'єкти КМ-САПР?
23. Як здійснюється корегування положення елементів балкової клітки?
24. Опишіть порядок нанесення висотних відміток та розмірів.

25. Опишіть порядок створення відомості елементів.
26. Як здійснюється генерація креслень вузлів?
27. Опишіть порядок створення специфікації металу.
28. Проаналізуйте діагностичні повідомлення КМ-САПР.
29. Які особливості креслень, створених в КМ-САПР?
30. Як виконується друкування креслень?

РОЗДІЛ 3. АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ОДНОПОВЕРХОВОЇ ПРОМИСЛОВОЇ БУДІВЛІ

3.1. Загальні положення

Розрахунок поперечної рами одноповерхової виробничої будівлі виконується в рамках курсового проекту, який входить до складу освітніх програм більшості будівельних вищих навчальних закладів. Навики, отримані студентом при виконанні даного курсового проекту, успішно використовуються і при розрахунках цивільних будівель, що мають в основі конструктивної схеми поперечну раму. Розрахунок поперечної рами є вельми поширеною задачею і в практиці робочого проектування.

Каркас промислової будівлі – це просторова багато стержньова багатократно статично-невизначна система. Можливості ПК ЛПРА-САПР дозволяють достатньо швидко створити просторову схему з урахуванням всіх елементів, що входять до складу каркаса. В цьому випадку можливо виконати в СТК-САПР підбір елементів всіх конструкцій: не тільки колон і ригелів, але і в'язів, підкранових балок, фахверков і т.д.

Проте слід враховувати, що збільшення трудомісткості проектування, викликане зростанням трудовитрат на створення просторової схеми, її аналіз, уніфікацію елементів, аналіз результатів підбору або перевірки елементів, може виявитися неефективним. Це пов'язано з тим, що в простих конструктивних схемах з однаковим кроком колон по всіх рядах зусилля в елементах колон і ригелів, розрахованих у складі просторової і плоскої схем, відрізнятимуться незначно. Перерізи великої кількості елементів підбираються не по несучій здатності, а конструктивно (наприклад, зв'язки – по граничній гнучкості).

У той же час, необхідно пам'ятати, що у ряді випадків каркаси виробничих будівель необхідно розраховувати тільки по просторових схемах. Наприклад, в роботі [14] встановлено, що для багатопротітних будівель з кроком колон по середніх рядах більшим, ніж по крайніх, при врахуванні просторової роботи каркаса спостерігається збільшення зусиль в елементах колон від вертикальних і горизонтальних навантажень кранів. Окрім того, просторова схема враховує наявність податливої в'язі на рівні

нижнього поясу ферм, обумовленої наявністю замкнутого контуру в'язей по нижньому поясу ферм. Таким чином, вибір ефективної технології розрахунку каркаса повинен здійснюватися індивідуально відповідно до його конструктивної схеми.

Просторовий розрахунок, який може бути виконаний тільки з використанням комп'ютерних технологій, необхідний для більшості спеціальних конструкцій, таких як каркаси висотних будівель, великопрольотні вантові і мембранні покриття, щогли і вежі, мостові конструкції і таке інше. Короткі відомості о таких конструкціях і можливостях їх комп'ютерного розрахунку наведені в розділі 5.

3.2.Компонування поперечної рами та проектування схеми каркасу. Навантаження на поперечну раму

Проліт цеху $L=24$ м, будівлю обладнано двома мостовими кранами вантажопідйомністю $Q = 80/20$ т групи режимів роботи 7К і прольотом $L_{cr}=24$ м, рівень відмітки головки підкранової рейки складає 12,3м, крівля тепла по прогонах. Будівля обладнана світлоаераційним ліхтарем. В результаті компоновки поперечної рами одержана конструктивна схема, приведена на рис. 3.1.

Колони – ступінчасто-змінного перерізу. Переріз верхньої (надкранової) частини колони – зварний симетричний двотавр з висотою перерізу $h_e=500$ мм. Нижня (підкранова) частина колони – наскрізний переріз, що складається з двох гілок, сполучених обрешіткою. Ширина колони $h_0 \approx h = 1.м$.

Кровляні ферми – з парних кутиків з паралельним контуром поясів, з трикутними решітками зі стійками. У рівні нижніх поясів ферм виконана система в'язей по покриттю, що складається з поздовжніх в'язевих ферм, розташованих в межах приопорних панелей впродовж всієї будівлі, поперечних в'язевих ферм, розташованих в торцях будівлі, а також розтяжок, що зв'язують середні вузли ферм.

Примикання ригеля до колон шарнірне. Колони жорстко закладені у фундамент.

Проведений розрахунок схеми на наступні навантаження:

1 – постійне, схема прикладення навантажень на покриття приведена на рис. 3.2;

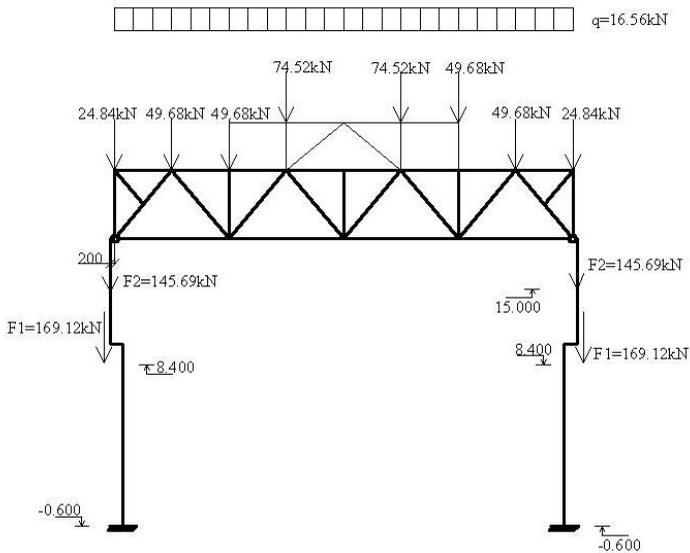


Рис. 3.2. Схема прикладення постійного навантаження

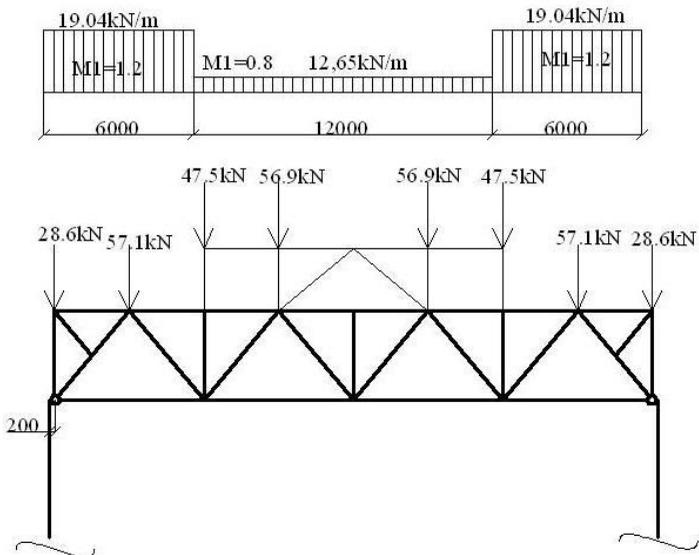


Рис. 3.3. Схема прикладення першого варіанту снігового навантаження

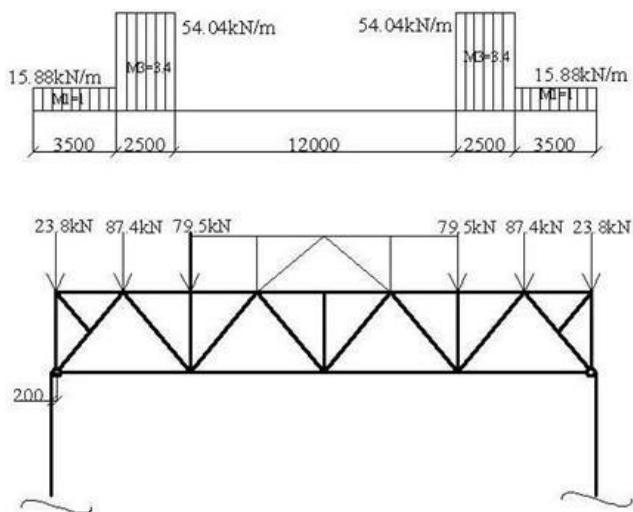


Рис. 3.4. Схема прикладення другого варіанту снігового навантаження

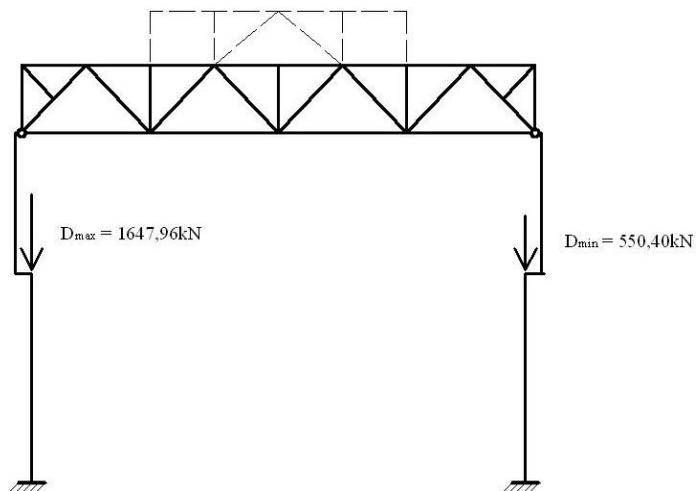


Рис. 3.5. Схема прикладення навантаження крана

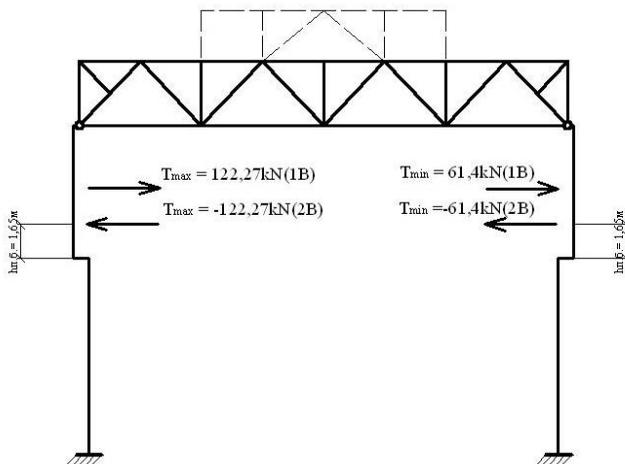


Рис. 3.6. Схема прикладення горизонтального поперечного навантаження крана

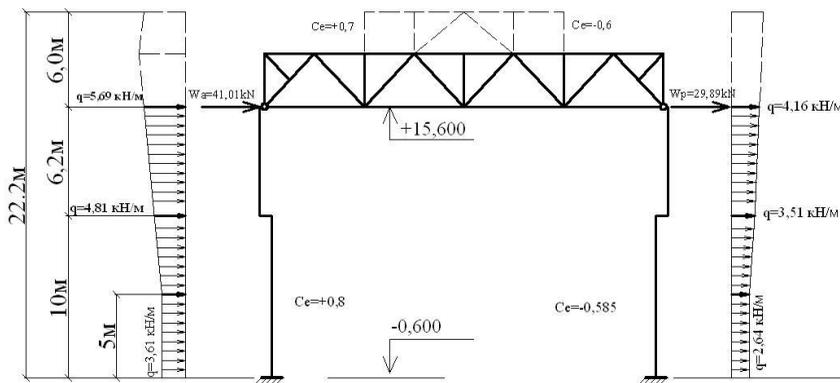


Рис. 3.7. Схема прикладення вітрового навантаження

3.3. Розрахункова схема поперечної рами, визначення зусиль та їх розрахункових сполучень. Статичний розрахунок рами

Розрахункова схема створюється при другій ознаці схеми з скінченних елементів (СЕ) типу 10. Для елементів ферми застосовується тип СЕ 1. Світлоаераційний ліхтар в розрахункову схему не включається. Перехід від конструктивної схеми до розрахункової починається із заміни реальних стержнів поперечної рами скінченними елементами, які задаються через центри ваги реальних стержнів. Центр ваги верхньої частини колони відповідатиме положенню подовжньої розбивочної вісі. Для нижньої частини колони положення центру ваги перерізу задамо його положення як $0,5 h_n$ від зовнішньої грані колони. В нашому випадку підкранова частина моделюється на відстані 0,25м від надкранової частини (розбивочної осі), а навантаження прикладається на відстані 0,75м від надкранової частини (розбивочної вісі). Визначення координат вузлів для скінченних елементів ферм виконується в припущенні, що відстань між центрами ваги поясів дорівнює 3,15 м, довжина панелі по нижньому поясу дорівнює 6 м, довжина панелі по верхньому поясу дорівнює 3 м. Моделювання примикання ферми збоку до колони і уступів ступінчастих колон здійснюється умовними стержнями. Контур розрахункової схеми, нанесений жирною лінією поверх конструктивної схеми поперечної рами, приведений на рис. 3.8.



Програмний комплекс ЛІРА-САПР пропонує широкий вибір інструментів для моделювання. Багато операцій, описаних в цьому розділі, можуть бути виконані іншими методами. Використані методи роботи дозволяють, з погляду автора, максимально освітити різні можливості ПК ЛІРА-САПР, проте, їх застосування не є догмою.

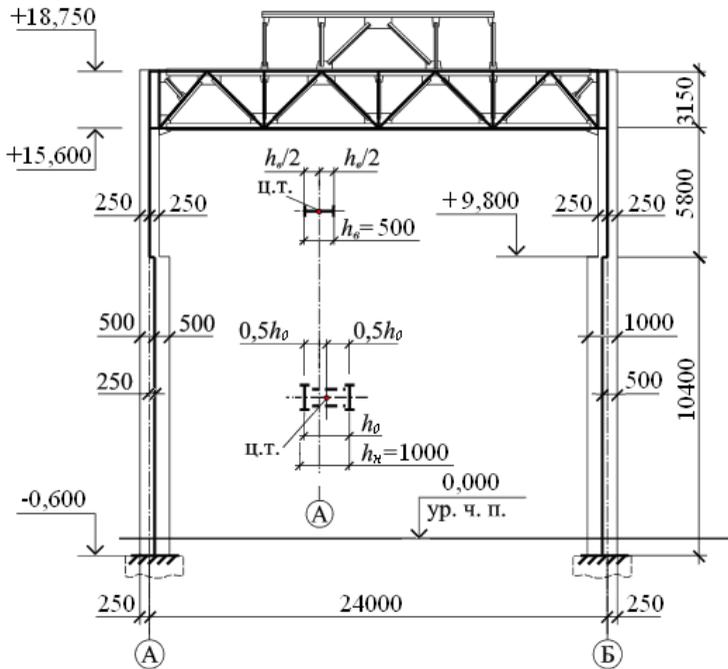


Рис. 3.8. Розрахункова і конструктивна схеми поперечної рами

3.3.1. Створення геометричної схеми поперечної рами

- Створюємо нову задачу з ім'ям і шифром «Рама» і ознакою схеми 2 – Три ступені свободи в узлі (два переміщення и поворот) X0Z.
- Викличте з головного меню **Схема** ⇒ **Создание** ⇒ **Регулярные фрагменты и сети**  діалогове вікно. На першій закладці **Создание плоских фрагментов и сетей** введіть дані у відповідності з рис. 3.9.
- Після натиснення кнопки  буде згенерована рама (рис.3.10), яку потрібно відкоригувати відповідно з вихідними даними.

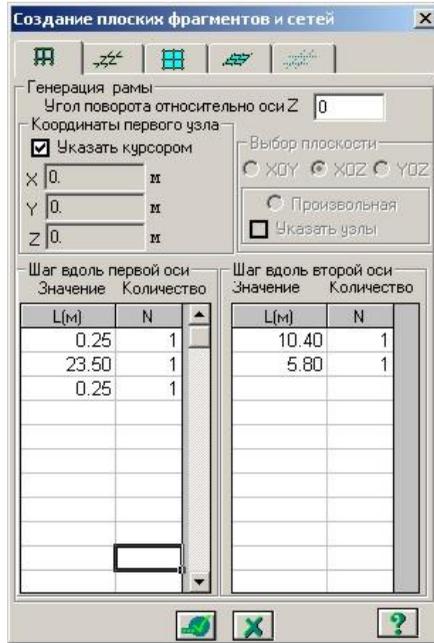


Рис. 3.9. Диалогове вікно «Создание плоских фрагментов и сетей»

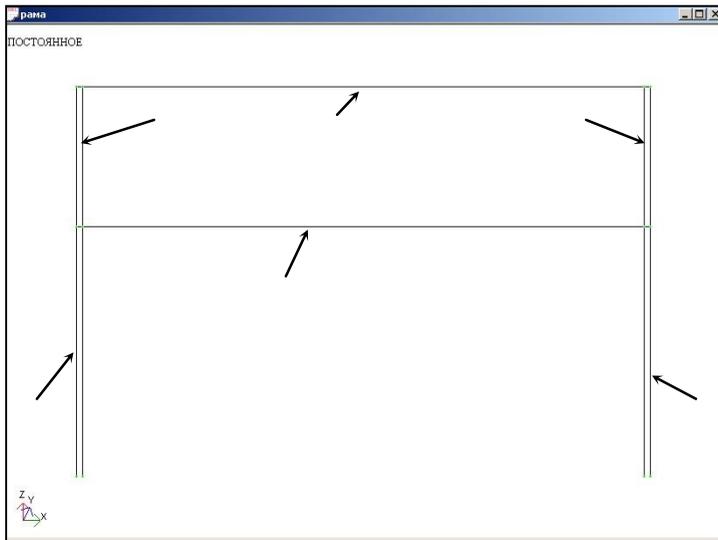


Рис. 3.10. Створена схема рами

- Далі потрібно привести отриману схему до розрахункової. Для цього видаліть елементи, позначені стрілочками. Попередньо виділіть ці елементи, потім застосуйте інструмент **Удаление выбранных объектов**. Збережіть задачу. Виберіть **Схема** ⇨ **Корректировка** ⇨ **Упаковка схемы**. У діалоговому вікні **Упаковка** встановіть прапорець для параметра '**Висячие узлы**', який розташований в групі параметрів **Исключить из расчетной схемы**, встановіть прапорець для параметра **Выполнять автосохранение перед началом упаковки**, натисніть кнопку .
- Виділіть всі елементи схеми, натиснувши на клавіатурі Ctrl+A.
- Викличте діалог **Перемещение объектов** за допомогою інструменту **Переместить выбранные объекты**. Зніміть виділення з об'єктів, натиснувши інструмент **Отмена выбора** .
- На першій закладці **Перемещение по параметрам** задайте dZ=0.6 м, натисніть кнопку .

 Для зручності контролю за процесом створення розрахункової схеми рекомендується регулярно відображати висотні відмітки, будівельні осі і розміри.

- Проставимо висотні відмітки на розрахунковій схемі.
- Переведіть розрахункову схему у вертикальну площину, використовуючи інструмент **Проекция на XOZ..**
- Виберіть команду меню **Схема** ⇨ **Строительные оси и отметки..**

При активній першій закладці клацайте по вузлах, що створюють одну з колон. В результаті схема повинна виглядати як на рис. 3.11.

Відобразимо розміри.

- Натисніть кнопку інструменту **Флаги рисования** .
- На третій закладці **Общие** встановіть прапорець для параметра **Размеры на проекции**, натисніть кнопку **Перемалювати** .

У разі потреби уточнення розмірів користуйтеся інструментом

Информация о размерах .

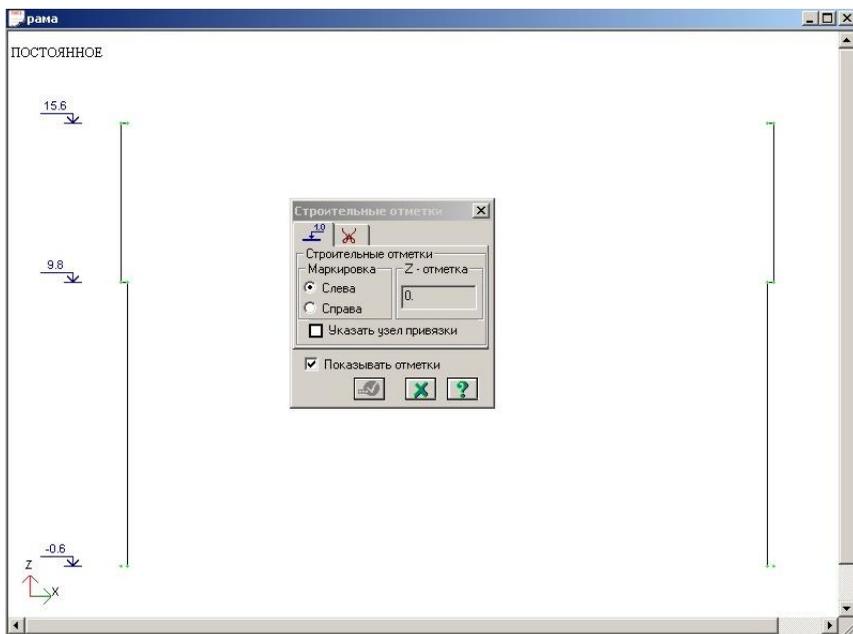


Рис. 3.11. Рама зі встановленими висотними відмітками

- Можна відмінити відображення будівельних відміток і розмірів, прибравши прапорці у відповідних параметрів в діалозі **Флаги рисования**, і, натиснувши кнопку  **Перемалювати**.
- Для подальшої роботи відобразить нумерацію вузлів і елементів за допомогою інструмента **Флаги рисования**.
- Створимо ферму. Для цього в меню виконайте **Схема** ⇒ **Создание** ⇒ **Фермы**. У діалозі **Создание плоских ферм** натисніть послідовно кнопки, приведені на рис. 3.12.

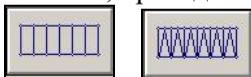


Рис. 3.12. Кнопки, використані для виклику діалогового вікна

Создание плоских ферм.

- В полі **Параметры фермы** введіть наступні параметри:
 - довжина ферми $L=24$ м;
 - висота ферми $H=3.15$ м;

- кількість прольотів (панелей по нижньому поясу) $K=4$;
 - встановить прапорець в полі **Указать узел привязки**;
- Натисніть кнопку **Нарисовать**, переконайтеся в правильності введених параметрів. Натисніть кнопку . Схема прийме вигляд як показано на рис. 3.13. Елементи, позначені стрілками, необхідно розділити навпіл за допомогою діалогового вікна **Добавить элемент**, закладки **Разделить на N равных частей**. Потім з'єднати верхні крайні вузли з вузлами, що створились посередині позначених елементів, як показано на фрагменті (рис.3.13)
- Змодельуємо примикання ферми збоку до колон. Виділіть крайню ліву стойку ферми за допомогою інструментів **Отметка узлов** , **Отметка элементов** .

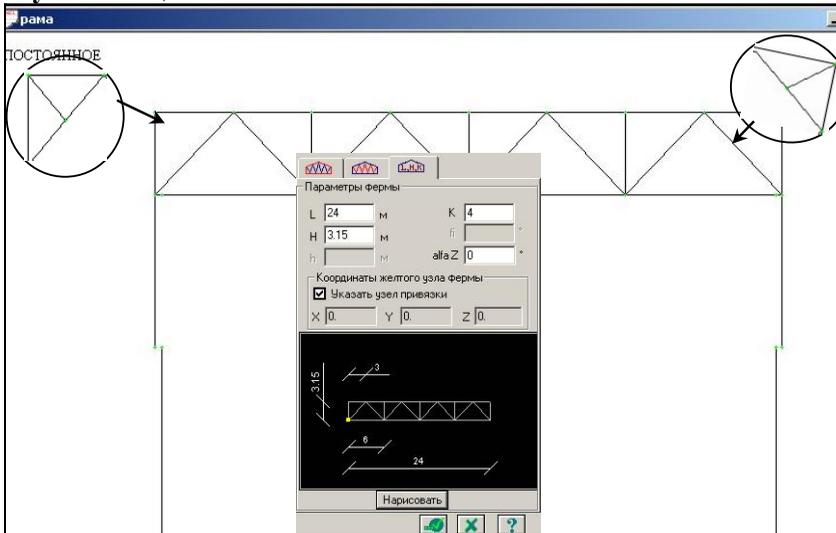


Рис. 3.13. Рама зі встановленою фермою

- Викличте діалогове вікно **Перемещение объектов** (кнопка  на панелі інструментів), на першій закладці **Перемещение по параметрам** задайте $dX=0.2$ м, натисніть кнопку .
- Далі виділіть крайню праву стойку ферми. В діалоговому вікні **Перемещение объектов** введіть $dX=-0.2$ м.

З'єднайте верхні вузли колон з нижніми крайніми вузлами ферми стержнями, та встановіть в місцях стику стержнів з фермою шарніри.

Схема прийме вигляд, приведений на рис. 3.14.

- Упакуйте схему .

Зараз необхідно змоделювати стик верхньої надкранової гілки колони з нижньою підкрановою гілкою складеного перерізу. На рис. 3.15 представлена розрахункова схема колони, характерної для промислової будівлі.

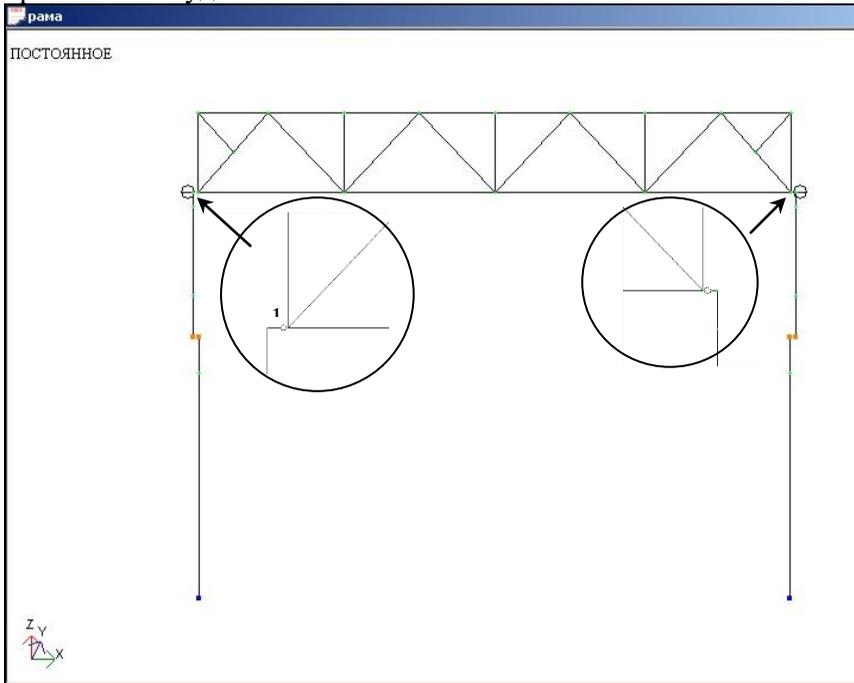


Рис. 3.14. Розрахункова схема після моделювання примикання ферми

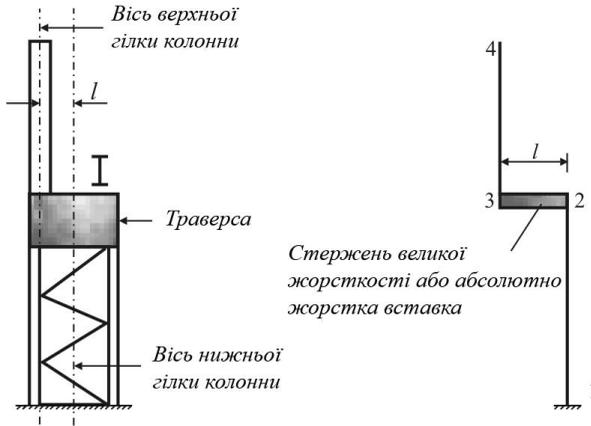


Рис.3.15. Розрахункова схема колонни

Стержень 1-2 моделює нижню (підкранову) гілку колонни складеного перерізу, 3-4 - верхню надкранову гілку колонни. Вісі цих гілок не збігаються. Цей вузол вирішують за допомогою потужної траверси. У розрахунковій схемі траверсу моделюють або стержнем 2-3 великої жорсткості, або абсолютно жорсткою вставкою 2-3. Абсолютно жорстка вставка може бути віднесена або до одного з стержнів 1-2 або 3-4, або введена як самостійне абсолютно жорстке тіло 2-3.

В нашому прикладі введемо абсолютно жорстке тіло (АЖТ). Для цього потрібно ввести два додаткових вузла з координатами:

X	Y	Z
0.75	0	9.8
23.25	0	9.8

за допомогою пункту меню **Схема** ⇒ **Корректировка** ⇒

Добавить узел (кнопка  на панелі інструментів)(рис.3.16).

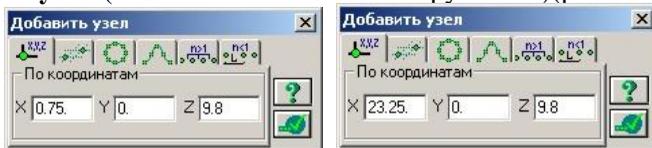


Рис.3.16. Діалогове вікно «Добавить узел»

- Далі за допомогою меню **Схема** ⇒ **Абсолютно жесткое тело** необхідно створити АЖТ. Створення АЖТ виконується за допомогою позначки на схемі відповідних вузлів і присвоєння одному з них статусу базового вузла.
 - Виконайте пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка узлов** (кнопка  на панелі інструментів). За допомогою курсору виділіть вузли, що моделюють траверсу (рис.3.15)
 - За допомогою курсору встановіть прапорець в полі **Указать базовый узел**. Вкажіть цей вузол на схемі.
 - Клацніть по кнопці .
- Ми отримали схему, представлену на рис.3.17.

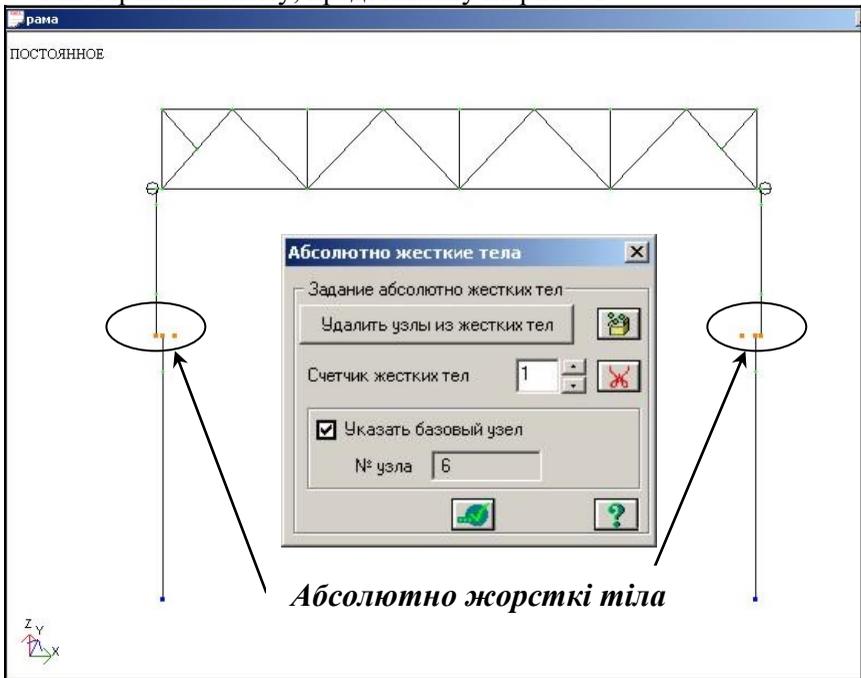


Рис.3.17. Створена геометрія розрахункової схеми

3.3.2. Задання граничних умов

- Виділіть нижні вузли колон за допомогою кнопки .

- Виконайте в меню **Схема** ⇒ **Связи** .
- У діалозі **Связи** у вузлах встановите прапорці для параметрів **X**, **Z**, **UY** (така комбінація зв'язків для плоскої поперечної рами відповідатиме жорсткому закріпленню колон у фундаментах).
- Натисніть кнопку , вузли забарвляться в синій колір (якщо Ви не міняли параметри в меню **Опции** ⇒ **Среда** ⇒ **Цвета**).

3.3.3. Задання жорсткісних характеристик

Геометричні характеристики перерізів елементів на даний момент є шуканими невідомими величинами. Проте, не призначивши жорсткісні характеристики всім елементам схеми, неможливо виконати розрахунок. Тому задамо перерізи для елементів на підставі попередніх розрахунків, виконаних відповідно до рекомендацій, висловлених в п.2.2.3 [3]. Відповідно до даної методики були визначені моменти інерції перерізів ферми, надкранової і підкранової частин колони, по яких визначені площі перерізів.

- Попередньо прийняті наступні розміри перерізів:
 верхня частина колони: Складений двотавр: полиці – 400x12 мм, стінка – 480x10 мм;
 нижня частина колони: Двотавр с паралельними гранями полок типа Ш (широкополочний) профілю 60Ш1
 перерізи ферми: нижній пояс $\perp\perp 100 \times 100 \times 10$, верхній пояс $\perp\perp 160 \times 160 \times 10$, розкоси $\perp\perp 80 \times 80 \times 10$, стійкі $\perp\perp 70 \times 70 \times 10$.
- Задання прийнятих типів перерізів елементам розрахункової схеми почнемо з верхньої частини колони. Створення жорсткісних характеристик проводиться за допомогою діалогу **Жесткости**, який викликається з меню **Жесткости** ⇒

Жесткости элементов . Після натиснення кнопки **Добавить** >> діалогове вікно розшириться. Виберіть другу закладку **База металлических сечений** і двічі клацніть на ескізі **Составной двутавр**. У вікні **Стальное сечение** (рис. 3.18) клацніть на полиці двотавра, далі у спадаючому списку **Сортамент** виберіть рядок **Прокат листовой горячекатаный толщиной 2.5...25 мм**, а у спадаючому списку **Профиль** – рядок – **400 x 12** (для поясу), аналогічно вибираємо профіль 480 x 10 (для стінки).

Якщо потрібного перерізу в стандартному сортаменті немає, то потрібно його задати за допомогою підпрограми РС (ЛІРА-САПР Сортамент), як описано в главі 2. Викликати цю підпрограму

можна за допомогою кнопки .

- Для того, щоб оновити список профілів, повторно виберіть у спадаючому списку **Сортамент** рядок **Прокат листовой горячекатаный толщиной 2.5...25 мм.**

 Для зручності контролю за процесом задання жорсткісних характеристик рекомендується використовувати коментарі до перерізів і колірні асоціації.

- У рядку **Коментарий** напишіть «надкр. частина колони». Клацніть по кнопці **Цвет**, у вікні виберіть будь-який колір з основної палітри або створіть власний, клацнувши по кнопці **Определить цвет >>**. Натисніть кнопку **ОК**, закривши діалог **Цвет**.

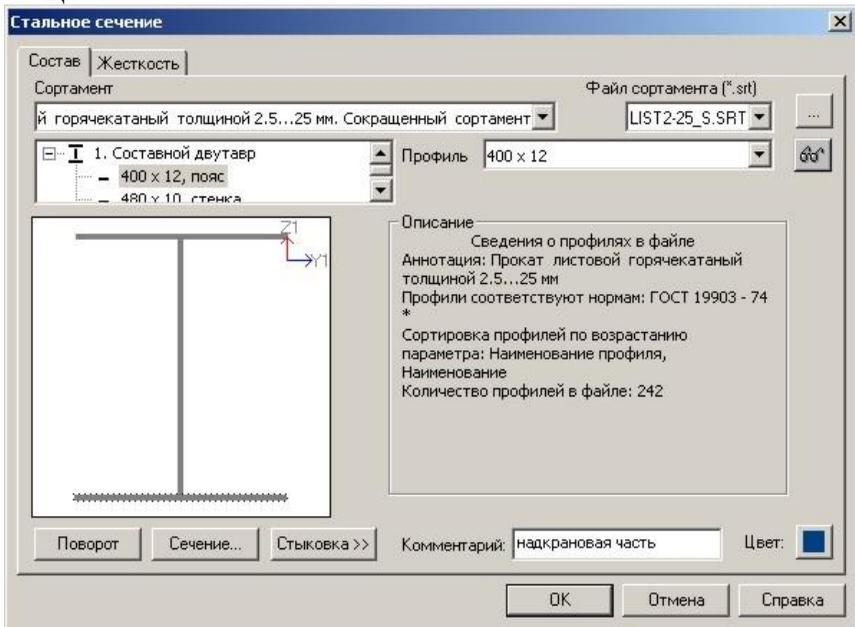


Рис. 3.18. Діалогове вікно «Стальное сечение» у момент задання перерізу для надкранової частини колони

Призначення типів жорсткостей елементам розрахункової схеми проводиться таким чином:

- Необхідно виділити в **Списке типов жесткостей** потрібний тип (для надкранової частини колони – це тип 1).
- Натиснути кнопку **Установить как текущий тип** або двічі клацнути на назві типу жорсткості, що призначається, після цього в рядку **Текущий тип жесткости** з'явиться назва типу жорсткості.
- Виділити на розрахунковій схемі елементи, яким буде привласнений поточний тип жорсткості
- Натиснути кнопку **Назначить**.
- Для того, щоб перевірити правильність виконаних дій рекомендується відобразити номери жорсткостей або асоційовані кольори за допомогою інструменту **Флаги рисования**. Для цього на першій закладці **Элементы** встановіть прапорці у параметрів **Типы жесткости** і **Показать жесткости цветом**, для параметрів **Номера узлов** і **Номера элементов** прапорці зніміть, натисніть кнопку  - **Перерисовать**.
Задамо жорсткість скінченим елементам підкранової частини

колони.

- У списку **База типовых сечений** діалогу **Жесткости элементов** двічі клацніть на ескізі **Раздвинутые двутавры**.
- У діалоговому вікні, що з'явилося «**Стальное сечение**», клацніть на зображенні двутавра «ветвь», далі у спадаючому списку **Сортамент** виберіть рядок **Двутавр с параллельными гранями полка типа Ш (широкополочный)**, а в списку **Профиль – 60Ш1**.
- Для перерізів, що складаються з кількох елементів, необхідно задати стиковку елементів перерізу. Для задання стиковки необхідно виділити елемент перерізу (в нашому випадку **60Ш1 ветвь**);
- Натисніть кнопку **Стиковка>>**;
Задайте відстань між жовтою і блакитною точками Y і Z рівну 84 см (рис.3.19);
- Натисніть кнопку **Поворот** для того, щоб розвернути переріз колони у відповідності з конструктивною схемою.

- У рядку **Коментарий** напишіть «підкран. частина колони», задайте асоційований з даним типом жорсткості колір, натисніть кнопку **ОК**.



Стиковка - це прив'язка одного елемента перерізу до іншого. Стиковка металевих перерізів здійснюється з використанням поняття стикувальних точок: жовтої і блакитної. Жовта точка завжди належить пристикованому елементу, а блакитна - базовому. Базовими елементами є стінка суцільного перерізу і нижня ліва гілка гілкових перерізів. За умовчанням, відстань від блакитний до жовтої точки задається в координатах. Це, однак, є неприйнятним для подальшого підбору деяких специфічних перерізів, наприклад, складеного двутавра з поясами з швелерів по СТК-САПР. Тому передбачено задання прив'язки в частках габариту пристикованих елементів.

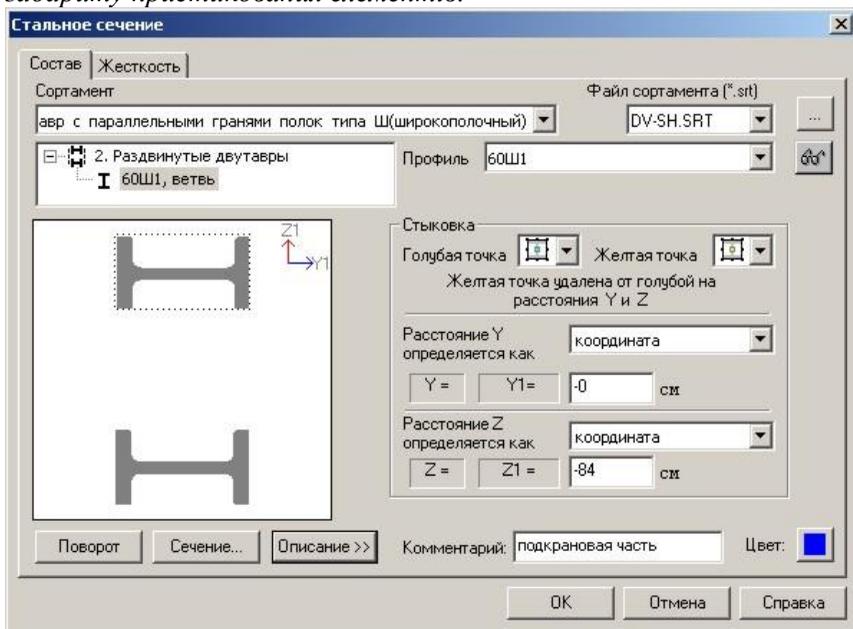


Рис. 3.19. Діалогове вікно «Стальное сечение» (задання Стиковки)

Встановіть 2 тип жорсткості як поточний, виділіть елементи, що належать нижній частині колони, призначте їм жорсткість.



Рекомендується перевіряти правильність орієнтації перерізів стержнів щодо їх місцевих осей за допомогою перегляду тривимірного зображення схеми в режимі 3-D візуалізації.

Перевіримо правильність призначення жорсткісних характеристик.

Оскільки жорсткісні характеристики задані ще не для всіх елементів, то необхідно виділити вертикальні елементи колон, а потім виконати фрагментацію схеми.

➤ Виконайте пункт меню **Вид ⇨ Пространственная модель (3D - графика)**. У вікні, що відкрилося, ви побачите елементи колони, відображені у вигляді стержнів. На панелі інструментів натисніть кнопку **Показать сечения элементов** , після цього вони відобразяться у тривимірному вигляді.

За допомогою кнопок на клавіатурі і миші розверніть схему так, щоб побачити геометрію поперечних перерізів. Як видно, переріз колони по осі «А» орієнтований вірно. Вірна орієнтація перерізів колони по осі «А» приведена на рис. 3.20.

Правила використання клавіатури приведені в довідковій системі в розділі **Пояснения ⇨ Применение клавиатуры в системе ЛИР-ВИЗОР ⇨ Применение клавиатуры (режим 3D визуализации)**.

Закрийте вікно 3-D візуалізації.

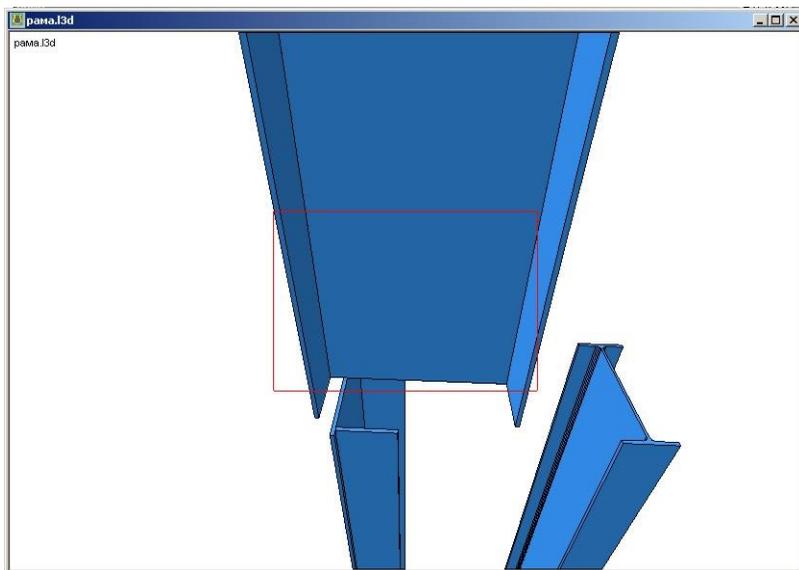


Рис. 3.20. Вікно «3 – D візуалізація колони по осі А»

Задамо жорсткості для елементів ферми.

Відфрагментуйте ферму, заздалегідь виділивши її як блок.

- На закладці **База металлических сечений** діалогового вікна **Жесткости элементов** двічі клацніть на ескізі **Два уголка**.
- У спадаючому списку **Сортамент** виберіть рядок **Уголок равнополочный**. Далі у спадаючому списку **Профіль** виберіть рядок **160x160x10**.
- У рядку **Комментар** напишіть «верхній пояс ферми», задайте колір, натисніть кнопку **ОК**.

Встановіть даний тип як поточний, призначте його заздалегідь виділеним елементам верхнього поясу.

- Жорсткісні характеристики для елементів нижнього поясу скопіюємо з жорсткості верхнього поясу, змінивши профіль на **100x100x10**. Для цього виділіть в Списку типів жорсткостей тип жорсткості 3, натисніть кнопку **Копирование**. В кінці списку з'явиться копія жорсткості 3 – жорсткість 4. Виділіть в списку тип жорсткості 4, натисніть кнопку **Изменить**. У діалоговому вікні, що відкрилося, **Стальное сечение** натисніть двічі кнопку **Поворот**, щоб переріз розвернувся на 180°, в рядку

Коментарий напишіть «нижній пояс ферми», натисніть кнопку **ОК**. Призначте даний переріз елементам нижнього поясу ферми.

Далі задайте жорсткості для розкосів і стійок.

Для елементів, моделюючих примикання ферми до колон, імітуємо абсолютно жорсткі вставки. Для цього задамо чисельну жорсткість як на рис.3.21

➤ В рядку **Коментарий** введіть «умовні стержні».

Виділіть елементи 1,2, що показані на рис. 3.14 та призначте їм створений тип жорсткості.

➤ Натисніть кнопку  для упорядкування типів жорсткості. Ця функція дозволяє переформувати списки заданих жорсткостей відповідно до типів скінченних елементів.

Проконтролюйте правильність задання жорсткісних характеристик за допомогою режиму **3D візуалізія**. Розрахункова схема з відображенням номерів типів жорсткостей приведена на рис. 3.22.

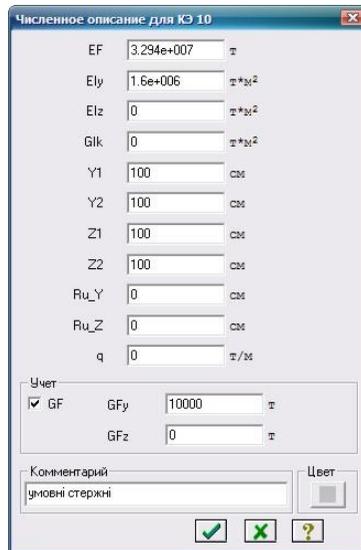


Рис.3.21 Діалогове вікно «Численное описание КЭ 10»

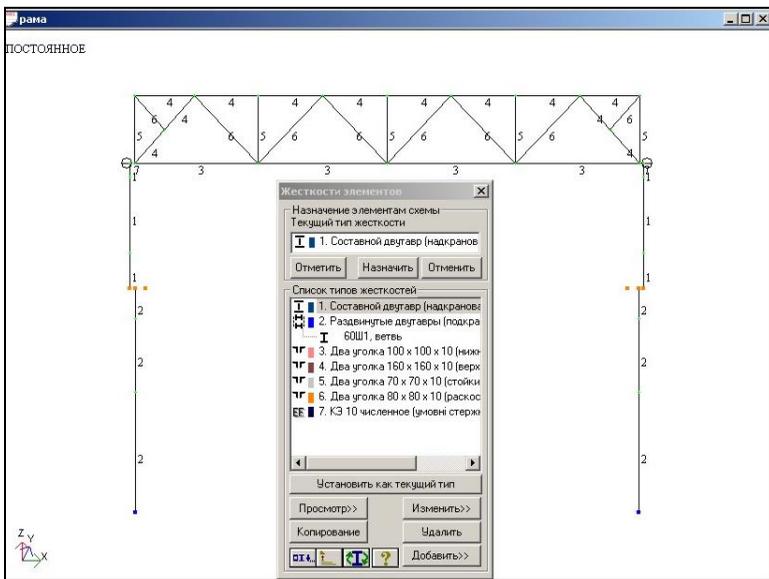


Рис. 3.22. Розрахункова схема після призначення жорсткісних характеристик всім елементам

3.3.4. Задання навантажень

Задання навантажень в загальному вигляді виконується по наступному алгоритму:

Зробити активним те завантаження, в якому будуть прикладені навантаження. Перемикання між завантаженнями здійснюється вибором в меню **Нагрузки** ⇔ **Выбор загрузки** або за допомогою лічильника, розташованого на панелі інструментів.



Під завантаженням мається на увазі група навантажень, діючих одночасно, якій присвоєний який-небудь порядковий номер. Розподілення навантажень, прикладених до розрахункової схеми, на завантаження рекомендується проводити залежно від їх природи, характеру і тривалості дій. Навантаження задаються розрахунковими, тобто з урахуванням коефіцієнта надійності по навантаженню γ_f .

- Рекомендується задати назву завантаження в рядку **Имя** діалогу **Активное загрузение**, яке викликається з меню **Нагрузки** ⇨ **Выбор загрузки**. Ім'я поточного завантаження відображається в лівому верхньому кутку вікна з розрахунковою схемою.
- Задання параметрів навантажень здійснюється в діалоговому вікні **Задание нагрузок**, яке викликається в меню **Нагрузки** ⇨ **Нагрузки на узлы и элементы**. Дане діалогове вікно включає шість закладок, які сформовані для різних типів навантажень і їх корегування.



Нагадуємо, що навантаження на елементи можуть задаватися як відносно глобальної системи координат, так і відносно місцевої системи координат скінченного елемента. Величина навантаження приймається позитивною, якщо напрям її дії протилежний напрямку відповідної осі системи координат (для моментів — позитивне значення моменту відповідає обертанню за годинниковою стрілкою, якщо дивитися з кінця осі).

Вибрати закладку, натиснути кнопку з піктограмою потрібного типу навантаження. У діалоговому вікні, що відкрилося, задати параметри навантаження, натиснути кнопку ОК. Введені параметри відобразяться в рядку **Текущая нагрузка** діалогового вікна **Задание нагрузок**.

- Виділити вузли або елементи на розрахунковій схемі.

Натиснути кнопку  в діалоговому вікні **Задание нагрузок**. У випадку якщо у вікні **Флаги рисования** для параметрів **Нагрузки** та **Величины нагрузок** виставлені прапорці, то задані навантаження відобразяться на розрахунковій схемі.

Задамо навантаження для завантажень, що описані в п. 3.1. Для того, щоб задати навантаження першого завантаження виконайте наступні дії.

- Виконайте в головному меню **Нагрузки** ⇨ **Выбор загрузки**. У рядку **Имя** діалогу **Активное загрузение** напишіть «1- постійне», натисніть кнопку .
- Викличте діалогове вікно **Задание нагрузок**. На закладці **Загрузки в узлах** за допомогою радіо-кнопок встановіть параметри **Система координат** – **Глобальная** і **Направление** –

Z. Натисніть кнопку із зображенням зосередженого навантаження на вузол .

- У діалоговому вікні **Параметры нагрузок** задайте в рядку **Значение** 24.84 кН. Виділіть верхні крайні вузли ферми, натисніть кнопку  в діалоговому вікні **Задание нагрузок**. Аналогічно задайте навантаження по схемі, яка представлена на рис.3.2, на верхні вузли ферми.

Для задання навантаження від маси стін та віконних рам зі склінням у нижній та верхній частинах вводимо додаткові вузли з координатами:

X	Y	Z	X	Y	Z
0.25	0	8.4	0	0	15
23.75	0	8.4	24	0	15

Видаліть всі елементи колон.

- За допомогою меню **Схема** ⇒ **Корректировка** ⇒ **Добавить элемент** (рис. 3.23) задайте елементи колон з врахуванням створених вузлів (обов'язково встановіть прапорець в поле **Учитывать промежуточные узлы**).

Задайте навантаження від маси стін та віконних рам в створені вузли згідно схеми на рис.3.2.

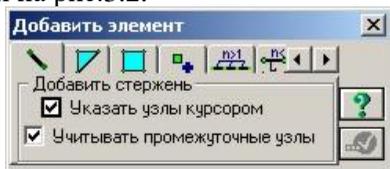


Рис.3.23. Діалогове вікно «Добавить элемент»

- Схема прийме вигляд як показано на рис. 3.24.

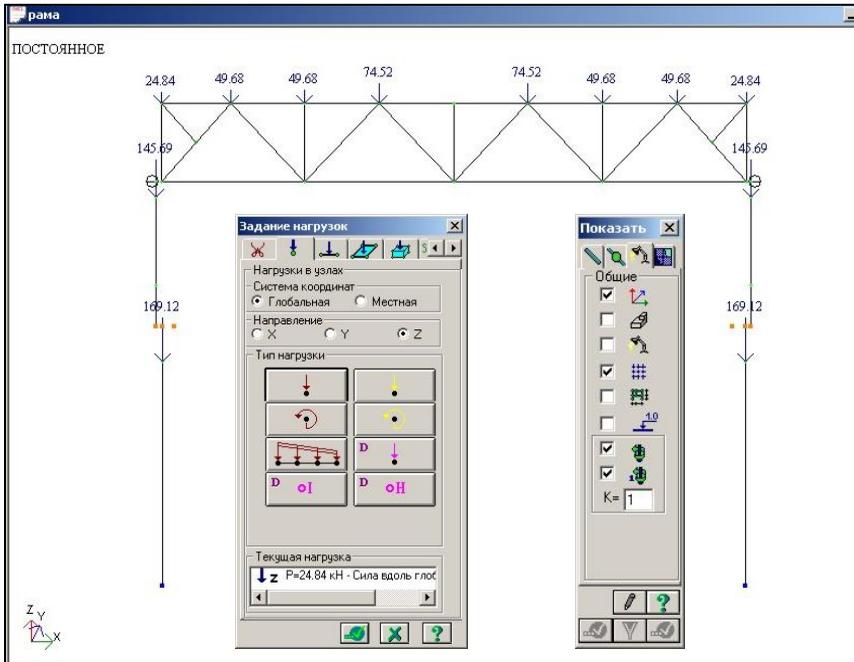


Рис. 3.24. Схема прикладення постійного навантаження в ПК ЛІРА-САПР

 Звертайте увагу на розмірність параметра навантаження. Одиниці виміру для навантажень можуть бути змінені в діалозі, який викликається з меню **Опции** ⇒ **Единицы измерения**.

➤ Прикладіть навантаження від власної ваги конструкцій, виконавши в меню **Нагрузки** ⇒ **Добавить собственный вес**. У діалоговому вікні **Добавить собственный вес** поставте радіо-кнопку для параметра **Собственный вес назначить: выделенные элементы** (заздалегідь виділивши всі елементи, окрім елементів, що імітують жорсткі вставки) і, вказавши Коеф. надійності по навантаженню (**Коефф. надежности по нагрузке**) рівним 1.05, натисніть .

Задайте снігові навантаження в завантаженнях 2 і 3 згідно схем навантаження, показаних на рис.3.3 та 3.4. Вид розрахункової схеми після задання всіх навантажень приведений на рис. 3.25 і 3.26.

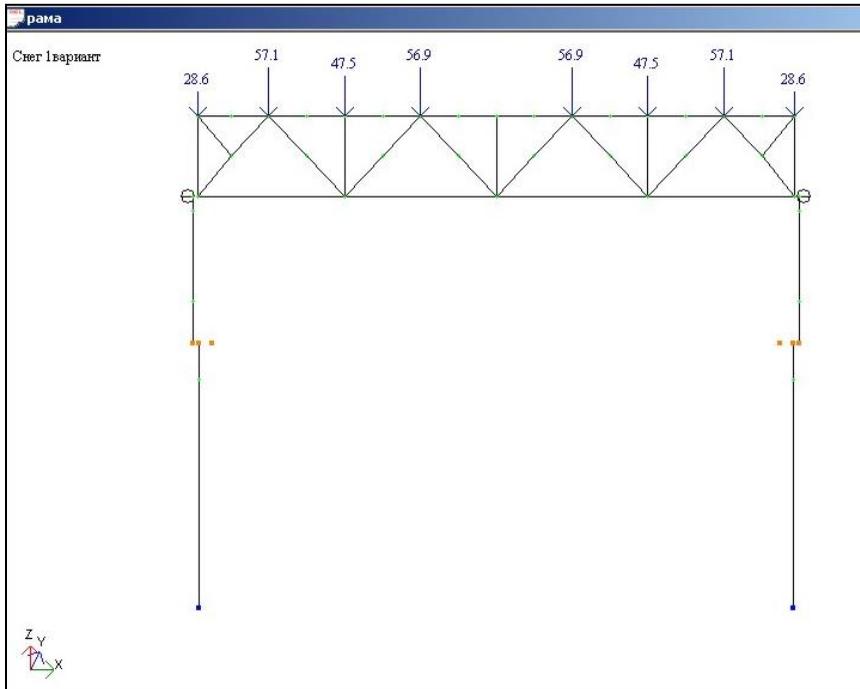
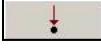


Рис. 3.25. Розрахункова схема після задання всіх навантажень
завантаження 2

Задамо навантаження для кранового завантаження 4, де максимальне кранове навантаження прикладається ліворуч, мінімальне – праворуч.

Задайте ім'я завантаження як «4 – кранове 1».

- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** за допомогою радіокнопки встановіть параметр **Направление Z**. На закладці **Нагрузки в узлах** натисніть кнопку . У діалоговому вікні **Параметры нагрузки** в рядку **Значение** введіть 1647.96 кН. Виділіть крайній правий вузол підкранової частини лівої колони (що належить на схемі абсолютно жорсткому тілу), натисніть кнопку .

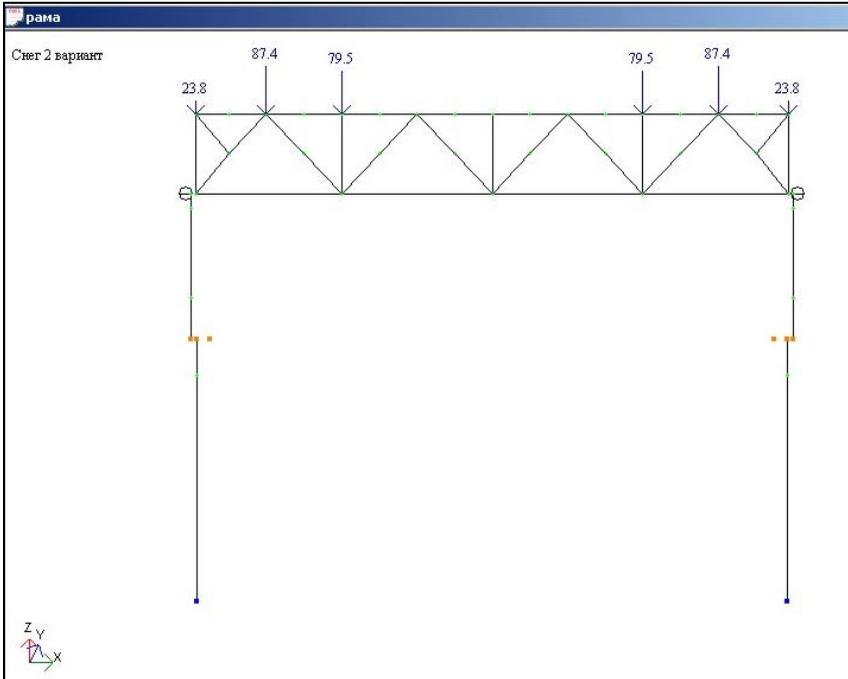


Рис. 3.26. Розрахункова схема після задання всіх навантажень
завантаження 3

- Натисніть кнопку . Значення навантаження введіть 550.4 кН. Виділіть крайній лівий вузол підкранової частини правої колони, вузол 5, натисніть кнопку . Розрахункова схема набуде вигляду як показано на рис. 3.27.

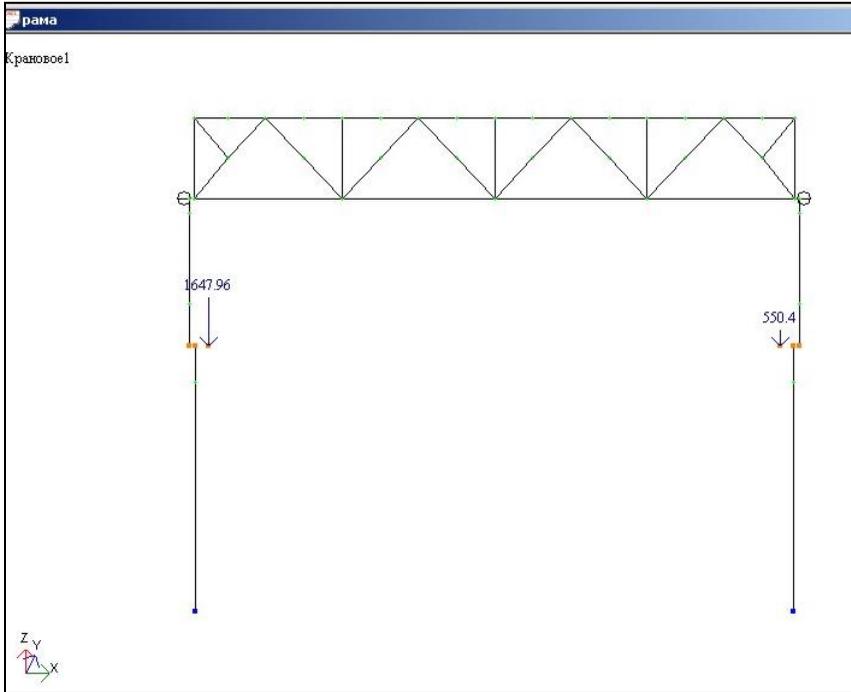
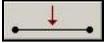


Рис. 3.27. Розрахункова схема після задання всіх навантажень
завантаження 4

Задайте навантаження для завантаження 5. В цьому завантаженні максимальне та мінімальне кранове навантаження міняються місцями.

➤ Задамо завантаження 6. У даному завантаженні діють горизонтальні навантаження крана T_{max} , T_{min} , направлені уперек шляху крана. Дані навантаження передаються на колони в рівні гальмівної конструкції.

➤ Прикласти **T_{max}** , **T_{min}** можна двома способами:

1) Задати зосереджене навантаження на елемент над кранової частини колони. Для цього натиснути на закладці **Нагрузки на стержни** діалогового вікна **Задание нагрузок** кнопку . У діалоговому вікні, що відкрилося, необхідно ввести параметри **$P=103.93$ кН**, **$A=1.65$ м**. Виділити елемент надкранової частини

лівої колони, натиснути кнопку . Аналогічні дії виконати для правої колони зі значеннями навантаження $P = -51.97$ кН.

2) Задати навантаження на вузол, заздалегідь відкоригувавши геометрію схеми. Тобто ввести додаткові вузли з координатами:

X	Y	Z	X	Y	Z
0	0	11.45	24	0	11.45

➤ Не забудьте видалити елементи надкранової частини колон та створити їх з урахуванням створених вузлів за допомогою діалогового вікна **Добавить элемент**.

Скористаємося останнім способом, оскільки він в перспективі дозволить здійснити зручніший аналіз зусиль і переміщень в стержнях колони.

➤ Для цього у діалоговому вікні **Задание нагрузок** за допомогою радіо-кнопки встановіть параметр **Направление X**. На закладці

Нагрузки в узлах натисніть кнопку . У діалоговому вікні **Параметры нагрузки** в рядку **Значение** введіть 103.93 кН. Виділіть щойно створений вузол лівої колони, натисніть кнопку .

➤ Натисніть кнопку . Значення навантаження введіть -51.97 кН. Виділіть щойно створений вузол правої колони, натисніть кнопку .

Вид розрахункової схеми після виконання вищеприписаних операцій приведений на рис. 3.28.

Задайте навантаження завантаження 7. В цьому завантаженні максимальне та мінімальне гальмівне навантаження міняються місцями.

Задамо вітрове завантаження. Вітрове навантаження змінюється по висоті колони на характерних відмітках (див. п. 6.5 [2]). Трапецієвидні ділянки навантаження можна задати за допомогою відповідного типу навантаження (кнопка ) , указуючи прив'язки початку і кінця навантаження до першого вузла скінченного елемента.

Задайте ім'я для завантаження 8 – «8 – вітер зліва».

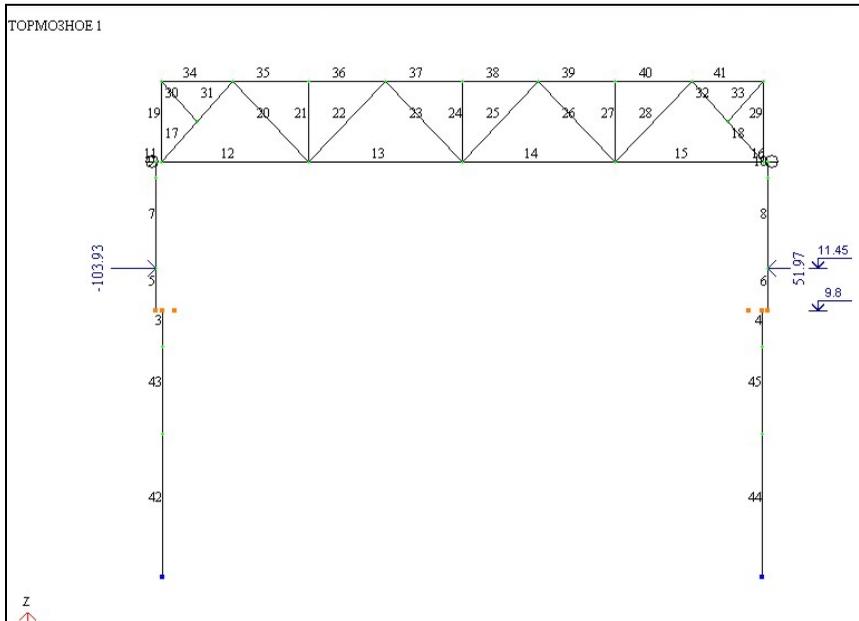


Рис. 3.28. Розрахункова схема після задання завантаження б

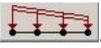
Відкоригуємо геометрію схеми так, щоб в сітку скінченних елементів включити вузол на відм. +5 м. Додайте вузли з координатами:

X	Y	Z	X	Y	Z
0.25	0	5	23.75	0	5

Видаліть елементи підкранової частини колон та створити їх з урахуванням створених вузлів за допомогою діалогового вікна «Добавить элемент».

- Задамо рівномірно розподілене навантаження, діюче до відм. +5 м. У діалоговому вікні **Задание нагрузок** на закладці **Нагрузки на стержни** за допомогою радіо-кнопки встановіть параметр **Направление X**. Натисніть кнопку . У вікні, що з'явилось, присвойте параметру P=-3. 61 кН/м, натисніть кнопку . Виділіть нижній елемент підкранової частини, натисніть кнопку . Аналогічним чином задайте

навантаження -2.64 кН/м на нижній елемент підкранової частини, що належить колоні по осі Б.

- Задамо трапецієвидну ділянку навантаження між відмітками $+5$ м і $+10$ м. (в нашому прикладі $9,8$ м). Натисніть кнопку . У діалоговому вікні **Неравномерная нагрузка** задайте наступні параметри: $P1 = -3.61$ кН/м; $P2 = -4.81$ кН/м; **Вдоль оси Z**. Виділіть елементи підкранової частини колони по вісі А, натисніть кнопку . Аналогічним чином задайте навантаження на стержні підкранової частини колони по вісі Б. Задамо трапецієвидну ділянку навантаження між відмітками $+10$ м і $+15,6$ м. Натисніть кнопку . У діалоговому вікні **Неравномерная нагрузка** задайте наступні параметри:

- $P1 = -4.81$ кН/м; $P2 = -5.69$ кН/м; **Вдоль оси Z**. Натисніть кнопку , виділіть стержні надкранової частини, Натисніть кнопку .
- Аналогічним чином задайте навантаження для колони по осі Б зі значеннями: між відмітками $+5$ м і $+10$ м $P1 = -2.64$ кН/м;
- $P2 = -3.51$ кН/м; між відмітками $+10$ м і $+15,6$ м $P1 = -3.51$ кН/м; $P2 = -4.16$ кН/м;
- Перейдіть на закладку **Нагрузки в узлах** і задайте зосереджені навантаження у верхніх вузлах колон згідно схеми навантаження на рис.3.7. Остаточний вид розрахункової схеми в завантаженні 8 приведений на рис. 3.29.

 Щоб видалити навантаження необхідно виділити вузол або елемент, до якого вона прикладена, потім натиснути кнопку інструменту Удаление загрузок . Для зміни значення навантаження можна скористатися закладкою Корректировка нагрузок  діалогового вікна Задание нагрузок або інструментом Інформація об узле или элементе .

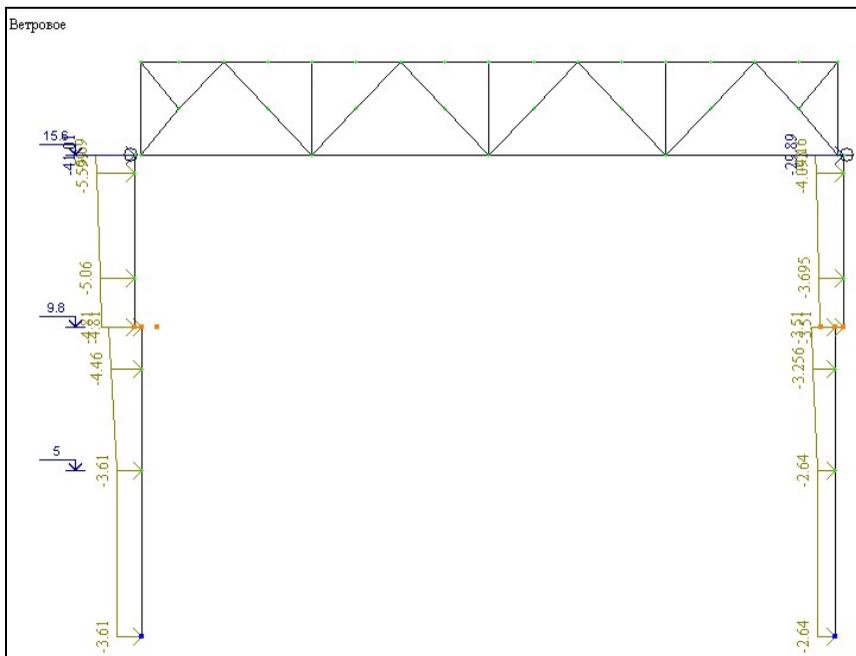


Рис. 3.29. Розрахункова схема після задання завантаження 8

3.3.5. Формування розрахункових сполучень зусиль

Формування розрахункових сполучень зусиль (у програмі російською **PCU**) проводиться в табличній формі шляхом задання різних параметрів і логічних зв'язків між завантаженнями. Докладні роз'яснення про процес формування таблиці PCU приведені в довідковій системі програмного комплексу ЛПРА-САПР в розділі **Справка**.

Задамо таблицю розрахункових сполучень зусиль для даного прикладу.

- У меню виконайте **Нагрузки** ⇒ **PCU** ⇒ **Генерация таблицы PCU**. З'явиться вікно **Расчетные сочетания усилий**, в якому вводитимемо інформацію про кожне завантаження.
- В полі **Строительные нормы** виберіть ДБН В.1.2 – 2.2006.
- В даний момент параметр **Номер загрузения** дорівнює 1, в параметрі **Название загрузения** відображається назва першого завантаження, тобто «1–постійне». Виберіть у списку **Вид**

загружения рядок **Постоянное (0)**, решту параметрів залиште без зміни.

Розглянемо параметри, що характеризують завантаження в таблиці розрахункових сполучень зусиль.

Параметри **Номер загрузки** і **Название загрузки** відповідають номерам і назвам, прийнятим Вами в процесі задання навантажень.

Параметр **Вид загрузки** може приймати наступні значення:

- Постійне (0);
- Тимчасове довготривале (1);
- Короткочасне (2);
- Кран (3);
- Гальмівне (4);
- Сейсмічне (5);
- Особливе (6);
- Миттєве (7);
- Стат. ветр. для пульсації (9).

Цифра, вказана в дужках, відповідає коду вида завантаження. У даному прикладі нами використовуватимуться наступні види завантажень: постійне, короткочасне, кран і гальмівне.

Параметр **N группы объединяемых временных загрузений** використовується для підсумовування в таблиці РСУ зусиль від завантажень, заданих окремо. Необхідність розподілення навантажень по різним завантаженням, які потім примусово об'єднуються, може бути викликана, наприклад, різними коефіцієнтами надійності по навантаженню γ . Якщо завантаження, включені в групу, створюють різнозначні зусилля, то в РСУ ввійдуть найбільш небезпечні для конкретного критерію.

Параметр **Учитывать знакопеременность** дозволяє при складанні таблиці РСУ використовувати зусилля, обчислені як від прикладених навантажень, так і від навантажень протилежних прикладеним по знаку. Для активації параметра необхідно виставити прапорець.

Параметр **N группы взаимоисключающих загрузений** використовується для того, щоб виключити одночасне включення в таблицю РСУ зусиль від завантажень, які через свою природу не можуть діяти одночасно. Наприклад, візок крана не може

одночасно максимально наблизитися до колон по осях «А» і «Б», тому завантаження 4 і 5 є взаємовиключними. Сніг не може розподілитися по покриттю одночасно по двох різних схемах, тому завантаження 2 і 3 є взаємовиключними. У нормальних кліматичних умовах вітер не може дути одночасно з протилежних сторін, тому такі завантаження також є взаємовиключними.



Об'єднання або взаємовиключення завантажень здійснюється шляхом присвоєння однойменним параметрам цифрового цілого значення, більше 1. Завантаження, що помічені однаковими цифрами в параметрах «N группы объединяемых временных загрузжений» або «N группы взаимоисключающих загрузжений» при формуванні таблиці РСУ об'єднуюватимуться або взаємовиключатимуться.

Параметр **NN сопутствующих загрузжений** дозволяє включити в розрахункове сполучення зусиль зусилля від завантажень, виникнення яких обумовлене дією інших завантажень. Наприклад, горизонтальне поперечне навантаження (гальмівне кранове навантаження), що прикладається до колони, не може виникнути, якщо на цю колону не наїхав кран. Тому завантаження 6 супроводжує завантаженням 4, а завантаження 7 супроводжує завантаженням 5. Допускається ввести два супутніх завантаження, в рядках необхідно ввести їх номери.

Параметр **Коефіцієнт надійності** відповідає коефіцієнту надійності по навантаженню γ_f . У графі коефіцієнт надійності по навантаженню задається число $d = \gamma_{fm} / \gamma_{fc} \geq 1$. На підставі цього числа виконується автоматичний перехід від граничних розрахункових значень зусиль (в СНиП розрахункових) до експлуатаційних розрахункових (в СНиП нормативних) значень для подальших розрахунків за II граничним станом.

У графі **Доля довготривалості** для всіх навантажень, крім сейсміки і епізодичних (особливих), задається відношення квазіпостійного значення навантаження до характеристичного $P_q / P_{ch} \leq 1$, а для сейсміки і епізодичних задається 0.

Параметри **Ограничения для кранов и тормозов** використовуються для встановлення ліміту на одночасне врахування зусиль від кранів і гальмівних завантажень. Наприклад,

для багатопролітної будівлі і гальмівні навантаження кранів задаватимуться для кожного прольоту, але одночасне врахування їх в РСУ суперечить вимогам розділу 4 [2].

Параметри **Коэффициенты РСУ** дозволяють вводити коефіцієнти поєднань ψ для двох основних і особливого сполучень. За умовчанням значення коефіцієнтів приймаються відповідно до розділу 1 [2].

Постійне завантаження формується навантаженнями, які приймаються з різними коефіцієнтами надійності по навантаженню γ . Наприклад, для навантажень від власної ваги конструкцій $\gamma=1.05$, а для навантаження від ваги цементно-піщаної стяжки, використаної в кривлі, $\gamma=1,3$. Найточнішим було б задати декілька завантажень відповідно до значень коефіцієнтів, проте в нашому прикладі це приведе до невиправданого підвищення трудомісткості створення розрахункової схеми і аналізу результатів. Тому в запас надійності приймемо **Отношение коэффициентов** γ_{fm}/γ_{fc} 1.1.

Коефіцієнти сполучень також залиште без зміни. Натисніть кнопку



У зведеній таблиці для обчислення розрахункових сполучень зусиль, розташованій внизу вікна, з'явиться рядок з прийнятими характеристиками. Номер завантаження автоматично прийме значення рівне 2.

➤ Введемо характеристики для завантаження «2 – снігове 1». Виберіть у списку **Вид загрузения** рядок **Кратковременное(2)**. У рядку вводу для параметра **№ группы взаимоисключающих загрузений** напишіть цифру 1. Параметр **Отношение коэффициентов** γ_{fm}/γ_{fc} за умовчанням приймає значення 1.0. Параметр **Отношение** P_q/P_{ch} за умовчанням приймає значення 0.35. Натисніть кнопку



➤ Введемо характеристики для завантаження «3 – снігове 2». Виберіть у списку **Вид загрузения** рядок **Кратковременное(2)**. У рядку вводу для параметра **№ группы взаимоисключающих загрузений** напишіть цифру 1. Параметр **Отношение коэффициентов** γ_{fm}/γ_{fc} за умовчанням приймає значення 1.0.

- Параметр **Отношение** P_q / P_{ch} за умовчанням приймає значення 0.35. Натисніть кнопку .
- Введемо характеристики для завантаження «4 – кран Dmax зліва». Виберіть у списку **Вид загрузения** рядок **Крановое** (3). У першому рядку вводу параметра **NN сопутствующих загрузений** напишіть цифру 6, в другий рядок нічого не вводьте. Параметр **Отношение коэффициентов** $\gamma_{fm} / \gamma_{fc}$ за умовчанням приймає значення 1.1. Параметр **Отношение** P_q / P_{ch} за умовчанням приймає значення 0.6. Натисніть кнопку . В полі **Ограничение для кранов и тормозов** встановіть в полі **Кран 1, Тормоз 1**
 - Введемо характеристики для завантаження «5 – кран Dmax справа». Виберіть у списку **Вид загрузения** рядок **Крановое** (3). У першому рядку вводу параметра **NN сопутствующих загрузений** напишіть цифру 7, в другий рядок нічого не вводьте. Параметр **Отношение коэффициентов** $\gamma_{fm} / \gamma_{fc}$ за умовчанням приймає значення 1.1. Параметр **Отношение** P_q / P_{ch} за умовчанням приймає значення 0.6. Натисніть кнопку .
 - Введемо характеристики для завантаження «6 – Tmax зліва». Виберіть у списку **Вид загрузения** рядок **Тормозное** (4). Параметр **Отношение коэффициентов** $\gamma_{fm} / \gamma_{fc}$ за умовчанням приймає значення 1.1. Параметр **Отношение** P_q / P_{ch} за умовчанням приймає значення 0.0. Натисніть кнопку .
 - Введемо характеристики для завантаження «7 – Tmax справа». Виберіть у списку **Вид загрузения** рядок **Тормозное** (4). Параметр **Отношение коэффициентов** $\gamma_{fm} / \gamma_{fc}$ за умовчанням приймає значення 1.1. Параметр **Отношение** P_q / P_{ch} за умовчанням приймає значення 0.0. Натисніть кнопку .
 - Введемо характеристики для завантаження «8 – вітер». Виберіть у списку **Вид загрузения** рядок **Кратковременное**(2). Параметр **Отношение коэффициентов** $\gamma_{fm} / \gamma_{fc}$ за умовчанням приймає значення 1.0. Параметр **Отношение** P_q / P_{ch} за

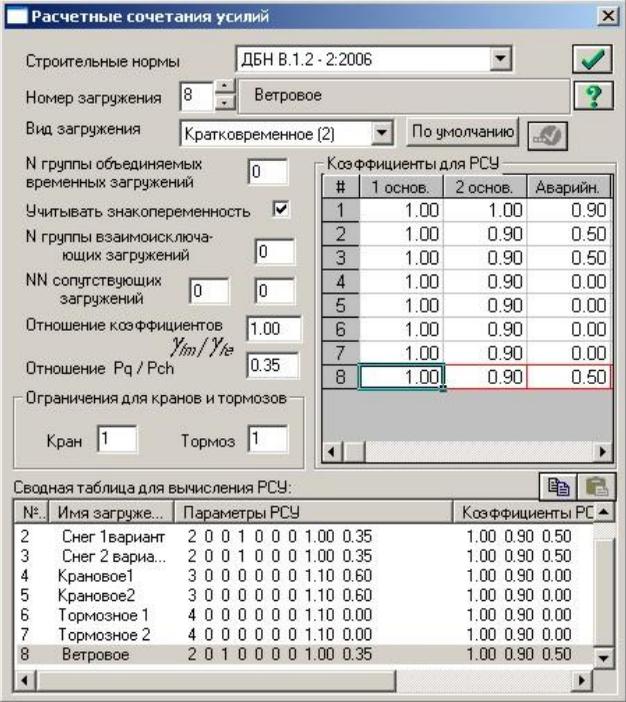
умовчанням приймає значення 0.35. Встановіть прапорець

Учитывать знакопеременность. Натисніть кнопку .

- Натисніть зверху вікна кнопку  - підтвердити для завершення формування таблиці РСУ.

Отримана таблиця РСУ показана на рис. 3.30.

 Для того, щоб відредагувати таблицю РСУ необхідно вибрати рядок з потрібним навантаженням в **Сводной таблице для вычисления РСУ** або шляхом перемикавання параметра **Номер загрузки**, далі внести зміни і натиснути кнопку . Для збереження змін натиснути кнопку в верхній частині діалогового вікна .



Строительные нормы: ДБН В.1.2 - 2:2006

Номер загрузки: 8 Ветровое

Вид загрузки: Кратковременное (2) По умолчанию

N группы объединяемых временных нагрузений: 0

Учитывать знакопеременность:

N группы взаимоисключающих нагрузений: 0

NN сопутствующих нагрузений: 0 0

Отношение коэффициентов: 1.00

Отношение Y_m / Y_{se} P_q / P_{ch} : 0.35

Ограничения для кранов и тормозов: Кран 1 Тормоз 1

#	1 основ.	2 основ.	Аварийн.
1	1.00	1.00	0.90
2	1.00	0.90	0.50
3	1.00	0.90	0.50
4	1.00	0.90	0.00
5	1.00	0.90	0.00
6	1.00	0.90	0.00
7	1.00	0.90	0.00
8	1.00	0.90	0.50

Сводная таблица для вычисления РСУ:

№	Имя загрузки...	Параметры РСУ	Кoeffициенты РС
2	Снег 1 вариант	2 0 0 1 0 0 0 1.00 0.35	1.00 0.90 0.50
3	Снег 2 вариан...	2 0 0 1 0 0 0 1.00 0.35	1.00 0.90 0.50
4	Крановое1	3 0 0 0 0 0 0 1.10 0.60	1.00 0.90 0.00
5	Крановое2	3 0 0 0 0 0 0 1.10 0.60	1.00 0.90 0.00
6	Тормозное 1	4 0 0 0 0 0 0 1.10 0.00	1.00 0.90 0.00
7	Тормозное 2	4 0 0 0 0 0 0 1.10 0.00	1.00 0.90 0.00
8	Ветровое	2 0 1 0 0 0 0 1.00 0.35	1.00 0.90 0.50

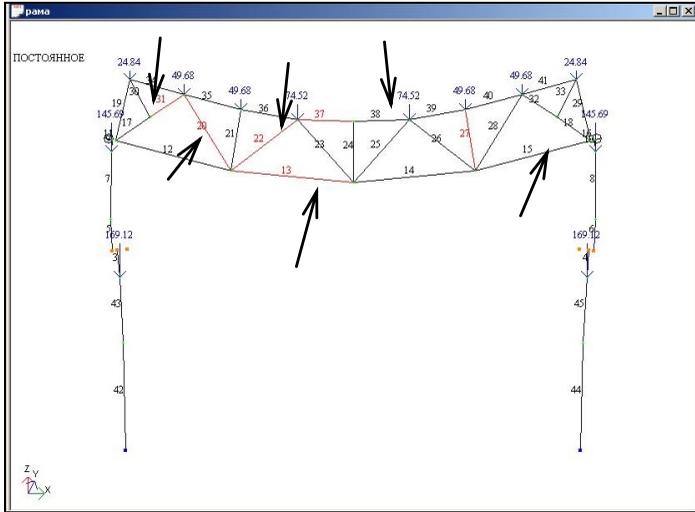
Рис.3.30. Діалогове вікно «Расчетные сочетания усилий» після задання всіх характеристик навантажень

Статичний розрахунок рами

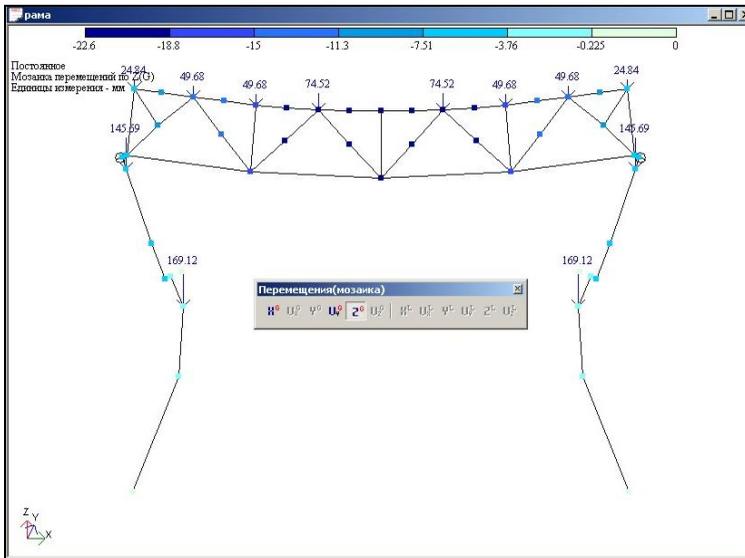
- Запустіть задачу на розрахунок за допомогою меню **Режим** ⇒ **Виконати розрахунок** . У разі успішного розрахунку активується пункт меню **Режим** ⇒ **Результати розрахунок** , за допомогою якого здійснюється перехід в режим аналізу результатів розрахунку.

3.3.6. Перегляд і аналіз результатів розрахунку

- Перейдіть в режим аналізу результатів розрахунку за допомогою меню **Режим** ⇒ **Результати розрахунок** .
- За умовчанням розрахункова схема буде відображена в деформованому стані (рис. 3.31, а). Графічне зображення величин переміщень, як правило, відображується з коефіцієнтом спотворення. Змінити даний коефіцієнт можна за допомогою меню **Схема** ⇒ **Масштаб переміщень** . Перевести схему в початковий стан можна, виконавши меню **Схема** ⇒ **Исходная схема** .
- Аналіз результатів розрахунку рекомендується почати з перегляду деформованих схем. Для наочності увімкніть мозаїку переміщень, натиснувши на панелі інструментів кнопку **Мозаїка переміщень узлов** . Після цього з'явиться додаткова панель інструментів, яка за умовчанням приклеїться по правій стороні екрану. Можна перетягнути дану панель на будь-яке інше місце. Деформована схема від завантаження 1 з ввімкненою мозаїкою переміщень по глобальній осі Z приведена на рис. 3.31,б.
- Перемикання між завантаженнями здійснюється у віконці-лічильнику, розташованому на панелі інструментів. Після того, як Ви встановите потрібний номер завантаження, натисніть кнопку .



а)



б)

Рис. 3.31. Результаты розрахунку: а) деформована схема завантаження 1;
б) деформована схема з мозаїкою переміщень

При перегляді деформованих схем звертайте увагу на відповідність деформацій прикладеним навантаженням. Якщо навантаження прикладені симетрично, то і деформована схема також повинна бути симетричною. Якщо два завантаження є дзеркальним відображенням один одного, то і деформовані схеми також повинні бути дзеркальними (наприклад, кранові завантаження).



Оцінюючи переміщення конструкцій, не забувайте про те, що вони були одержані від розрахункових навантажень.

- Прогляньте епюри. На панелі інструментів натисніть кнопку

Епюри усилий в стержнях , з'явиться додаткова панель (за умовчанням в нижній лівій частині екрану). На даній панелі розташовані кнопки для відображення епюр в класичному вигляді, а також кнопки для відображення колірних мозаїк зусиль. Оскільки розрахунок був проведений по другій ознаці схеми, то активними є тільки кнопки зусиль N, Qz, My.

- Рекомендується відфрагментувати вертикальні елементи колони, далі на четвертій закладці в діалоговому вікні **Флаги рисования** встановіть прапорець для параметра **Значения на эпюрах**. Виділіть елементи, вузли яких співпадають з характерними перерізами, використаними в конструктивному розрахунку: опорний переріз, перерізи нижчі і вище за уступ, переріз в рівні опорного розкосу ферми. Натисніть кнопку **Применить флаги рисования для выделенных объектов**. Епюри згинаючого моменту My для завантаження 1 приведені на рис. 3.32.

Проаналізуйте епюри на їх адекватність заданим навантаженням.

- Виведіть таблиці розрахункових сполучень зусиль для елементів ферми. Виділіть елементи ферми, в яких виникають максимальні зусилля (на рис. 3.32,а на ці елементи вказують стрілки). Для цього викличте **Окно** ⇨ **Интерактивные таблицы**, у діалоговому вікні **Редактор форм** виберіть строку **PCY (стержни)**, натисніть кнопку . У вікні **Создание таблицы PCY** встановіть радіо кнопку **Для выбранных**

элементов, натисніть кнопку . На екран виводиться таблиця РСУ стержни (рис. 3.33). Отримані значення використовуються в подальшому конструюванні.

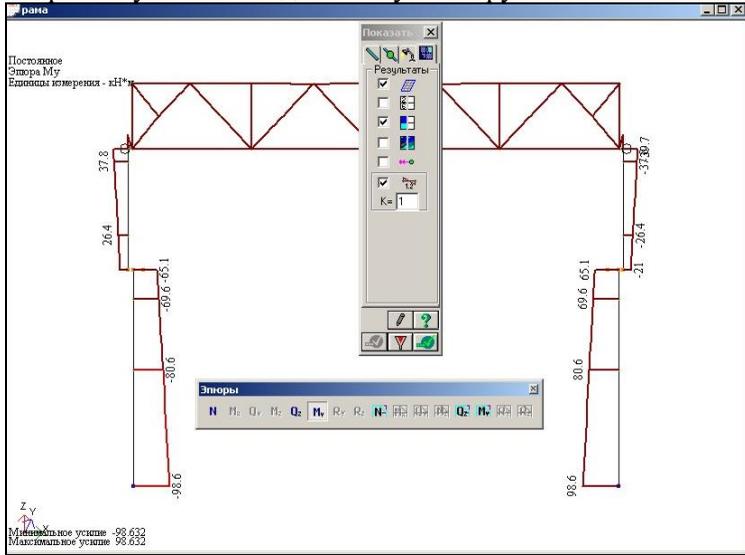


Рис. 3.32. Епюри M_x для колон рами від завантаження 1

Таблиця РСУ (стержни)											Файл Редактовать Опции	
Таблиця РСУ (стержни)							Усилия					ИФР нагрузк
№ элем	№ сечен	Тип РСУ	Край/сейсм	Состав РСУ	Критерий	N (кН)	Ик (кН*м)	Иу (кН*м)	Qz (кН)	Иz (кН*м)	Оу (кН)	
13	1	1	-	длит	1	632.896	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
13	1	1	-	полн	1	632.896	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
13	2	1	-	длит	1	632.896	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
13	2	1	-	полн	1	632.896	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
20	1	1	-	длит	1	315.666	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
20	1	1	-	полн	1	315.666	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
20	2	1	-	длит	1	315.666	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
20	2	1	-	полн	1	315.666	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
22	1	1	-	длит	2	-181.485	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
22	1	1	-	полн	2	-181.485	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
22	2	1	-	длит	2	-181.485	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
22	2	1	-	полн	2	-181.485	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
27	1	1	-	длит	2	-129.180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 3
27	1	1	-	полн	2	-129.180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 3
27	2	1	-	длит	2	-129.180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 3
27	2	1	-	полн	2	-129.180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 3
31	1	1	-	длит	2	-455.948	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 3
31	1	1	-	полн	2	-455.948	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 3
31	2	1	-	длит	2	-455.948	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 3
31	2	1	-	полн	2	-455.948	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 3
37	1	1	-	длит	2	-640.992	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
37	1	1	-	полн	2	-640.992	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
37	2	1	-	длит	2	-640.992	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
37	2	1	-	полн	2	-640.992	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2

Рис. 3.33. Таблица РСУ для элементов фермы

- Збережіть результати розрахунку для роботи в конструюючій системі СТК-САПР: **Файл** ⇒ **Сохранить**.

3.4. Розрахунок та конструювання конструктивних елементів поперечної рами. Підбір або перевірка перерізів.

Приступимо до конструктивного розрахунку елементів поперечної рами.

Імпорт даних про результати розрахунку в конструюючу систему СТК-САПР можна виконати двома способами:

- 1) У режимі аналізу результатів розрахунку ПК ЛІРА-САПР виконаєте в меню **Окно** ⇒ **СТК-САПР**.
- 2) Запустіть СТК-САПР через системну кнопку **Пуск** ⇒ **Програми** ⇒ **ЛІРА-САПР** ⇒ **СТК-САПР**. У меню виконаєте **Файл** ⇒ **Импорт**. У вікні, що з'явилося, вкажіть на файл Вашої задачі, як це показано на рис. 3.34. Натисніть кнопку **Открыть**. Збережіть задачу **Файл** ⇒ **Сохранить**.

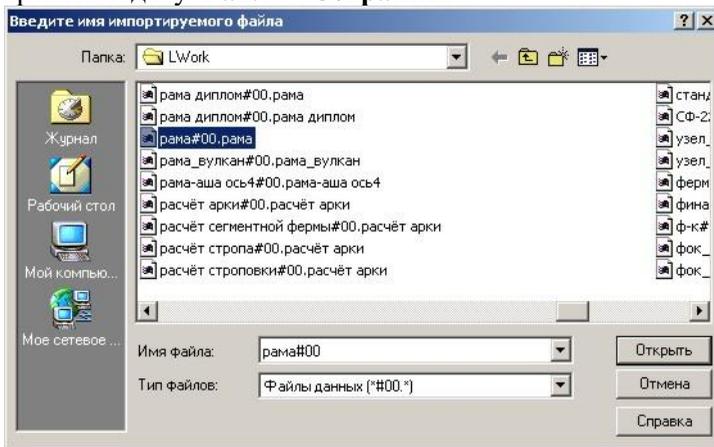


Рис. 3.34. Вікно вибору файлу для імпорту в СТК-САПР

Метою нашої роботи в СТК-САПР є уточнення заздалегідь заданих жорсткісних характеристик. Для ознайомлення з технологією роботи в СТК-САПР здійснимо як підбір перерізів, так і їх перевірку. При вирішенні будь-якої задачі ми виконуватимемо наступні етапи роботи:

- задання додаткових характеристик до існуючих або нових поперечних перерізів;
- уніфікацію елементів, уніфікацію конструктивних елементів;
- задання конструктивних елементів.

3.4.1.Перевірка елементів ферми

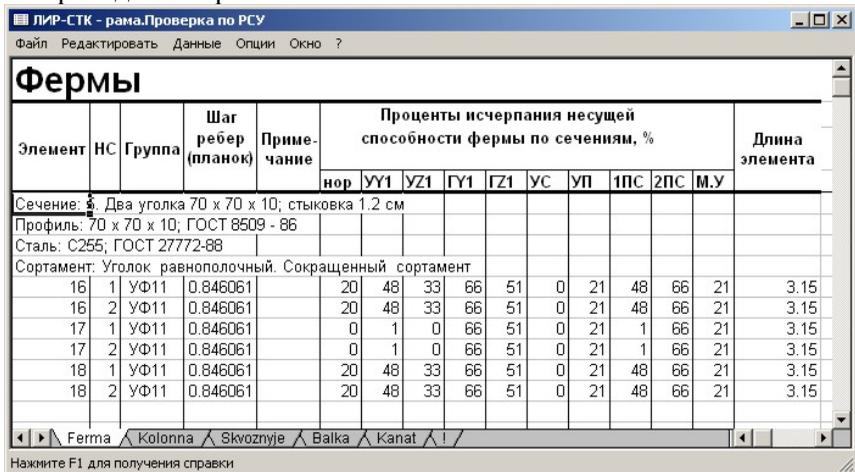
- Здійснимо перевірку несучої спроможності перерізів стійок ферми. Роботу почнемо з призначення додаткових характеристик перерізу.
- Викличте діалогове вікно **Жесткости элементов**, натиснувши кнопку .
- У списку типів жорсткості виберіть тип **Два уголка 70 x 70 x 10.Сокращенный сортамент**. Натисніть кнопку **Изменить >>**.
- У вікні **Стальное сечение** на першій закладці у спадаючому списку **Сталь** виберіть **C245**. Подивитися які розрахункові опори відповідають даній марці стали можна, натиснувши кнопку  напроти спадаючого списку **Сталь**.
- Натисніть кнопку **Стыковка**, встановіть параметр $Y=Y1=1.2$ см. Даний параметр повинен призначатися виходячи з передбачуваної товщини фасонки між кутиками.
- Перейдіть на закладку **Дополнительные характеристики**. Для параметра **Тип элемента** встановіть радіо-кнопку **Ферменный**. Вікно заповниться додатковими параметрами.
- У розділі **Расчетные длины** встановіть прапорець для параметра **Использовать коэффициенты к длине конструктивного элемента**. У рядках вводу задайте наступні значення для параметрів: відносно осі $Z1=1$, відносно осі $Y1=0.8$.



*Нагадаємо, що $Z1$ і $Y1$ – це місцеві осі стержнів. Проглянути їх напрям можна за допомогою вікна **Флаги рисования**. У даній задачі розрахункова довжина щодо осі $Y1$ відповідатиме розрахунковій довжині l_{ef} в площині ферми, а відносно осі $Z1$ – з площини ферми (див. табл. 11 [1]).*

- У розділі **Предельная гибкость** для параметра **на сжатие** встановіть радіо-кнопку **неопорный элемент решетки фермы**.

- У розділі **Кoeffициенты условий работы** введіть в рядку по **устойчивости=0.95, по прочности=0.95** (див. п. 3 табл. 6* [1]). Натисніть кнопку **ОК**.
Створимо уніфіковану групу для елементів стійок.
Виділіть елементи стійок.
- У меню виконайте **Редактировать** ⇒ **Унифицировать элементы**. У вікні **Унифицированные группы** для параметра **Типы унификации** встановіть радіо-кнопку **Все сечения между собой**. Натисніть кнопку **ОК**. Поряд з елементами стійок з'являться підписи УФ11.
- Для підбору перерізів на панелі інструментів натисніть кнопку **Расчет** .
Одержимо текстові результати підбору перерізів стійок.
Виділіть елементи стійок.
- Натисніть кнопку **Таблицы** .
- У діалоговому вікні **Таблицы результатов** виберіть радіо-кнопку **Excel** – формат. У списку виділіть **Проверка**.
Натисніть кнопку . Вікно з результатами розрахунку приведене на рис. 3.35.



Элемент	НС	Группа	Шаг ребер (планок)	Примечание	Проценты исчерпания несущей способности фермы по сечениям, %											Длина элемента
					нор	УУ1	УЗ1	ГУ1	ГЗ1	УС	УП	1ПС	2ПС	М.У		
Сечение: Два уголка 70 x 70 x 10; стыковка 1.2 см																
Профиль: 70 x 70 x 10; ГОСТ 8509 - 86																
Сталь: С255; ГОСТ 27772-88																
Сортамент: Уголок равнополочный. Сокращенный сортамент																
16	1	УФ11	0.846061		20	48	33	66	51	0	21	48	66	21	3.15	
16	2	УФ11	0.846061		20	48	33	66	51	0	21	48	66	21	3.15	
17	1	УФ11	0.846061		0	1	0	66	51	0	21	1	66	21	3.15	
17	2	УФ11	0.846061		0	1	0	66	51	0	21	1	66	21	3.15	
18	1	УФ11	0.846061		20	48	33	66	51	0	21	48	66	21	3.15	
18	2	УФ11	0.846061		20	48	33	66	51	0	21	48	66	21	3.15	

Рис. 3.35. Результаты проверки стійок фермы

- Здійснимо перевірку перерізів нижнього поясу ферми.

- У списку типів жорсткості діалогу **Жесткости элементов** виберіть тип **Два уголка 100 x 100 x 10**. Натисніть кнопку **Изменить >>**.
- У вікні **Стальное сечение** на першій закладці у спадаючому списку **Сталь** виберіть **C245** Натисніть кнопку **Стыковка**, встановіть параметр $Y=Y1=1.2$ см.
- Перейдіть на закладку **Дополнительные характеристики**. Для параметра **Тип элемента** встановіть радіо-кнопку **Ферменный**.
- У розділі **Расчетные длины** встановіть прапорець для параметра **Использовать коэффициенты к длине конструктивного элемента**. У рядках вводу задайте наступні значення для параметрів: відносно осі $Z1=1$, відносно осі $Y1=1$.
- У розділі **Предельная гибкость** для параметра **на сжатие** встановіть радіо-кнопку **элемент пояса или опорный раскос фермы**.
- У розділі **на растяжение** введіть значення **400**.
- У розділі **Коэффициенты условий работы** введіть в рядку **по устойчивости**=0.95, в рядку **по прочности**=0.95 (див. п. 3 табл. 6* [1]). Натисніть кнопку ОК.
- Виділіть два елементи нижнього поясу ферми, які знаходяться ліворуч. У меню виконайте **Редактировать** ⇨ **Создать конструктивный элемент**. Поряд з елементами з'являться надписи КФ1. Аналогічні дії виконайте для елементів нижнього поясу ферми, які знаходяться праворуч.
- Виділіть всі елементи нижнього поясу ферми. У меню виконаєте **Редактировать** ⇨ **Унифицировать конструктивные элементы**.

Виконайте розрахунок.

Аналогічним чином виконайте перевірку перерізів для верхнього поясу ферми. Для розрахунку створіть два конструктивні елементи в середній частині ферми, що знаходяться під ліхтарем.

Виконайте перевірку перерізів для розкосів. При цьому окремо скопіюйте тип жорсткості для опорних розкосів, у якого коефіцієнт для визначення розрахункової довжини відносно осі $Y1$ задайте рівним 0.5 (з урахуванням звичайно встановлюваного шпренгеля). Для решти розкосів розрахункову довжину визначите самостійно по табл. 11 [1].

3.4.2. Перевірка нижньої частини колони

Для розрахунку верхньої і нижньої частини колони необхідно знати їх розрахункові довжини в площині і з площини поперечної рами. В рамках курсового проекту для визначення розрахункових довжин колон скористаємося таблицею 18 [1]. Відповідно до розрахункової схеми рами умови закріплення верхнього кінця колони – кінець, закріплений тільки від повороту. В цьому випадку коефіцієнт μ для нижньої ділянки колони в площині рами рівний 2, для верхньої ділянки – 3. Розрахункові довжини колон з площини рами приймаються рівними відстаням між закріпленими від зсуву з площини рами точками. Для даної задачі розрахункова довжина нижньої частини колони з площини рами рівна її геометричній довжині, верхньої частини колони – відстані від рівня кріплення гальмівної конструкції до рівня розпірки по колонах в площині нижніх поясів ферм.

Виконаємо перевірку перерізу нижньої частини правої колони.

- У списку типів жорсткості діалогового вікна **Жесткости элементов** виберіть тип **Раздвинутые двутавры**. Натисніть кнопку **Изменить >>**. Призначте елементам гілок розвинутого двутавра сталь С245.
- Клацніть на зображенні розвинутого двотавра. У спадаючому списку **Сталь** виберіть **как у ветви**. Клацніть на **60Ш1 ветвь**, у спадаючому списку **Сталь** виберіть сталь С245.
- Перейдіть на закладку **Дополнительные характеристики**. Для параметра **Тип элемента** встановіть радіо-кнопку **Колонна**.

В закладці задаються вихідні дані для розрахунку елементів, що піддаються дії осьової сили зі згином.

Кoeffициенты условий работы (Коефіцієнти умов роботи) - задання коефіцієнтів γ_c для перевірок по стійкості і по міцності. Коефіцієнти умов роботи γ_c задаються як для всього перерізу, так і для кожного елементу перерізу окремо. Якщо γ_c с для елементу перерізу відрізняється від γ_c всього перерізу, вони будуть використані для перевірок стійкості цього елемента перерізу. Наприклад, коефіцієнт умов роботи елементу "гілка" буде використаний при перевірці стійкості гілки. Коли задається коефіцієнт умов роботи для всього перерізу, він дублюється для всіх його компонентів. Тому після задання коефіцієнта умов

роботи для всього перерізу необхідно перевірити правильність його задання для всіх компонентів перерізу. Щоб задати γ_c для будь-якого елемента перерізу, треба виділити його в дереві перерізів. У таблиці вихідних даних локального розрахунку друкується лише коефіцієнт умов роботи всього перерізу.

Коеффициент надежности (Коефіцієнт надійності) - задання коефіцієнта надійності за призначенням γ_n . Коефіцієнт надійності задається єдиний для всього перерізу.

Расчетные длины (Розрахункові довжини) - задання розрахункових довжин елементів відносно місцевих осей Z1 і Y1. Використовується при відключеному прапорці «использовать коэффициенты к длине конструктивного элемента» (використовувати коефіцієнти до довжини конструктивного елемента). Розрахункові довжини задаються в одиницях вимірювання геометрії.

Кoeffициенты длины (Коефіцієнти довжини) - задання коефіцієнтів довжини відносно місцевих осей Z1 і Y1. Використовується при виставленому прапорці «использовать коэффициенты к длине конструктивного элемента» (використовувати коефіцієнти до довжини конструктивного елемента). Для отримання розрахункових довжин при запуску розрахунку обчислюється геометрична довжина елемента (або конструктивного елемента, якщо ведеться розрахунок конструктивного елемента), яка множиться на відповідний коефіцієнт довжини.

Розрахункові довжини гілок задаються для розрахунку в площині, перпендикулярній площині сполучної решітки. Розрахункові довжини гілок потрібні для розрахунку двогілкової колони.

Предельная гибкость (Гранична гнучкість) - задання граничної гнучкості. Гранична гнучкість на розтяг завжди задається числом. Гранична гнучкість при стисненні може також задаватися випадком з таблиці 19 * СНиП II -23-81 * за допомогою радіо-кнопок, які охоплюють ті випадки, в яких при обчисленні граничної гнучкості використовується коефіцієнт α з таблиці 19 * СНиП II -23-81 *. За умовчанням гранична гнучкість при розтязі дорівнює 300.

Соединительная решетка (Сполучна решітка) - задання типу сполучної решітки.

Примітка: коли тип сполучної решітки задається вперше або змінюється, то файл і профіль сполучної решітки невідомі. За умовчанням, для підбору використовується файл рівнополочних кутиків і файл листів, а перевірку перерізу робити не можна. Щоб провести перевірку перерізу з новопризначеним сполучної решітки, треба повернутися до закладки **Состав** і задати на ній файл і профіль сполучної решітки.

Шаг решетки (Крок решітки) - задання кроку решітки. Якщо заданий крок решітки 0, приймається, що крок решітки є таким, що її нахил до осей гілок дорівнює 60 градусів.

- У розділі **Расчетные длины** у рядках вводу задайте наступні значення для стержня відносно осі $Z1=10.4$, відносно осі $Y1=24.49$.
- У розділі **Соединительная решетка** у списку виберіть перший рядок – трикутну решітку. Задайте параметр **Шаг решетки**=2.4 м.
- Поверніться на закладку **Состав**. Виділіть **раскос**, у спадаючому списку **Сортамент** виберіть **Уголок равнополочный**, у спадаючому списку **Профиль** – 100 x 100 x 10, у спадаючому списку **Сталь** – С245. Натисніть кнопку **ОК**.
- Створіть конструктивні елементи з елементів нижньої частини правої колони.
- Натисніть кнопку **Расчет элемента**  на панелі інструментів. Клацніть по створеному конструктивному елементу, відкриється вікно локального режиму розрахунку.
- У меню локального режиму виконайте **Результаты** ⇨ **Выполнить проверку элемента**. Таблиця результатів перевірки перерізу нижньої частини колони приведена на рис. 3.36.
- У меню локального режиму виконайте **Результаты** ⇨ **Выполнить подбор элемента**. Таблиця результатів підбору перерізу нижньої частини колони приведена на рис. 3.37.

Треба звернути увагу на поле **Ограничение подбора** діалогового вікна **Стальное сечение**. У полі **Ограничение подбора** задаються:

- 1) допустимі габарити перерізу, що підбирається;

- 2) мінімальна товщина його стінок і полиць;
- 3) чи ставити ребра жорсткості. Використовується для балок, у колонах ребра жорсткості розставляються завжди, якщо гнучкість стінки перевищує $3,2 \cdot (E / R_y)$.

Це поле необхідно враховувати для найбільш раціонального варіанту підбору перерізу з точки зору матеріалоемності при максимальному врахуванні усіх критеріїв стійкості, гнучкості та інших.

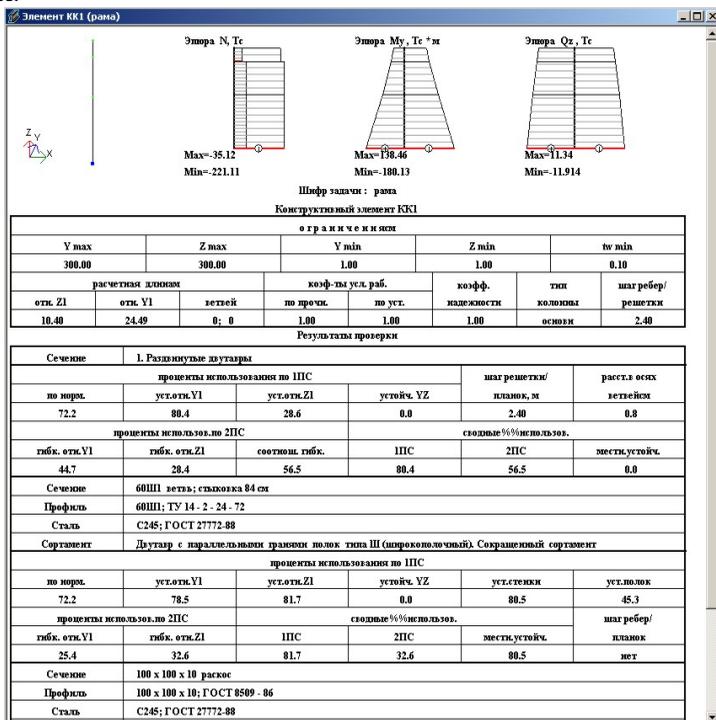


Рис. 3.36. Результаты проверки перерізів нижньої частини колони

З рисунків 3.36 та 3.37 видно, що підбирається менший переріз гілки – 50Ш2. Якщо в полі **Ограничение подбора** змінити параметр **Мин. толщина** (за умовчанням цей параметр дорівнює 0.1 см) на 0.05, то результат підбору перерізу розкосу зміниться на менший. Підібраний переріз треба враховувати при конструюванні.

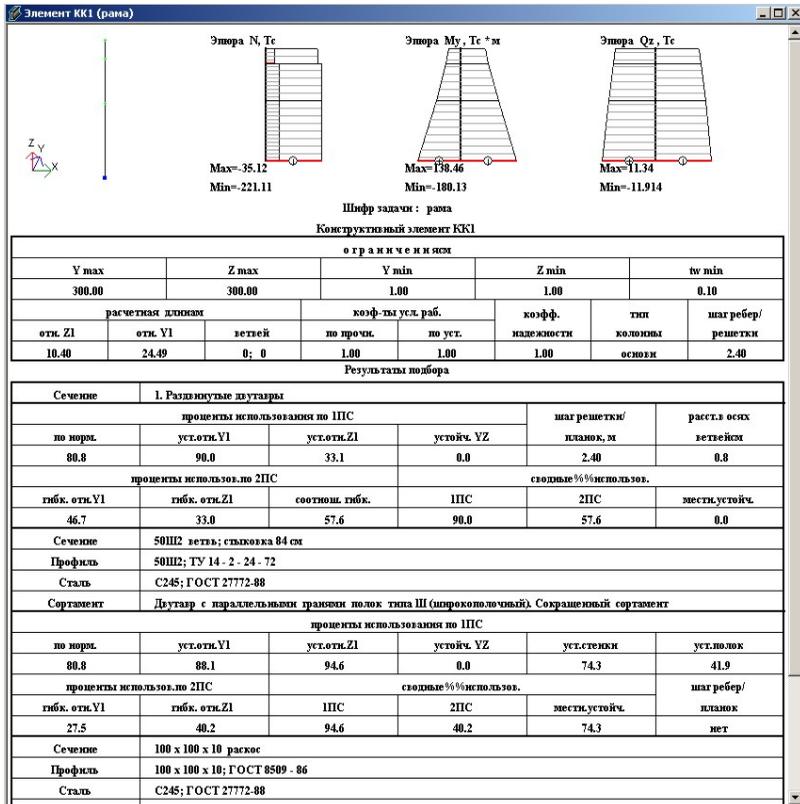


Рис. 3.37. Результаты підбору перерізів нижньої частини колони

3.4.3. Проверка і підбір верхньої частини колони

Складність розрахунку верхньої частини колони полягає у тому, що через специфіку розрахунку, ділянки для перевірки на стійкість в площині рами і з площини різні. Тому використовуємо інший механізм для перевірки перерізу.

Задамо загальні для всіх елементів характеристики.

- У списку **типів жорсткості** діалогу **Жесткости элементов** виберіть тип **Составной двутавр**. Натисніть кнопку **Изменить >>>**.
- У діалоговому вікні **Стальное сечение** на першій закладці у спадаючому списку **Сталь** призначте сталь **C245** для полиці,

стілки. Далі виділіть весь двутавр і призначте йому сталь **как у пояса**.

- Перейдіть на закладку **Дополнительные характеристики**. Для параметра **Тип элемента** встановіть радіо-кнопку **Колонна**.
- Натисніть кнопку **ОК**.

Створіть конструктивний елемент зі скінченних елементів верхньої частини лівої колони (ділянка від вузла додатку гальмівного навантаження до нижнього поясу ферми). Розрахунок почнемо з перерізу над уступом колони.

Натисніть кнопку **Розрахунок елемента**  на панелі інструментів.

Клацніть по елементу над уступом колони, відкриється вікно локального режиму розрахунку, в його заголовку буде вказане **СТК-САПР – [Елемент 5 (рама)]**.

- Викличте діалог **Жесткости элементов**, натиснувши кнопку



У списку жорсткостей буде тільки один рядок – **составной двутавр**, виділіть його і натисніть кнопку **Изменить**.

- У діалоговому вікні **Стальное сечение** перейдіть на закладку **Дополнительные характеристики**. У розділі **Расчетные длины** у рядках вводу задайте наступні значення для стержня відносно осі $Z_1=1.65$ (відстань від уступу до вузла додатку гальмівного навантаження), відносно осі $Y_1=17.4$ ($5.8 \cdot 3$, де 5.8 – відстань від уступу колони до нижнього поясу ферми), $\Phi_b=1.65$ м.

Примітка. Розрахункова довжина для обчислення Φ_b необхідна для перевірки стійкості позакентровано-стиснутого стержня відкритого перерізу з площини дії моменту: $N/(c \cdot \varphi_y) < R_y \cdot \gamma_c$ (п. 5.30 СНиП II-23-81*), де c при великих ексцентриситетах залежить від φ_b . У загальному випадку розрахункова довжина l_{ef} для обчислення φ_b не дорівнює розрахунковій довжині l_{y1} або l_{z1} , що застосовуються для обчислення φ_y . Тому доводиться задавати l_{ef} особливо. У розрахунку стержнів замкнутого перерізу або при малих ексцентриситетах стержнів відкритого перерізу величина l_{ef} не бере участі.

- Натисніть кнопку **ОК**. Закрийте діалогове вікно задання жорсткостей.

- Натисніть кнопку **Перевірка**  на панелі інструментів. Вікно прийме вигляд як на рис. 3.38.

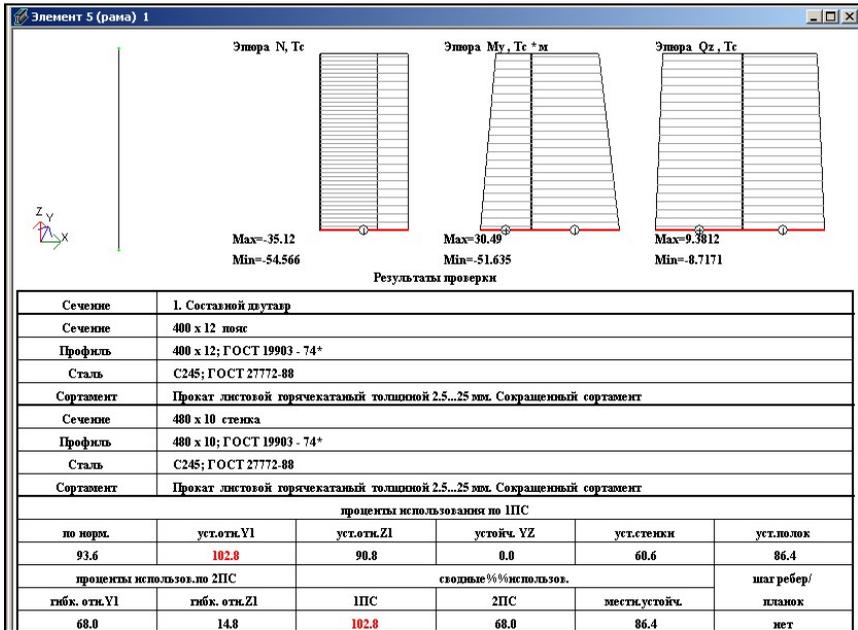


Рис. 3.38. Перевірка елемента 5 надкранової частини (над уступом) лівої колони

З результатів перевірки виходить, що переріз колони над уступом не задовольняє перевіркам по граничних станах.

Виконайте підбір елемента, змінивши критерії підбору в полі **Ограничение подбора**. Встановіть параметри, як показано на рис. 3.39.

Підбір перерізу елемента виконається наступним чином: переріз поясу – 400 x 12; переріз стінки – 450 x 16 (рис. 3.40).

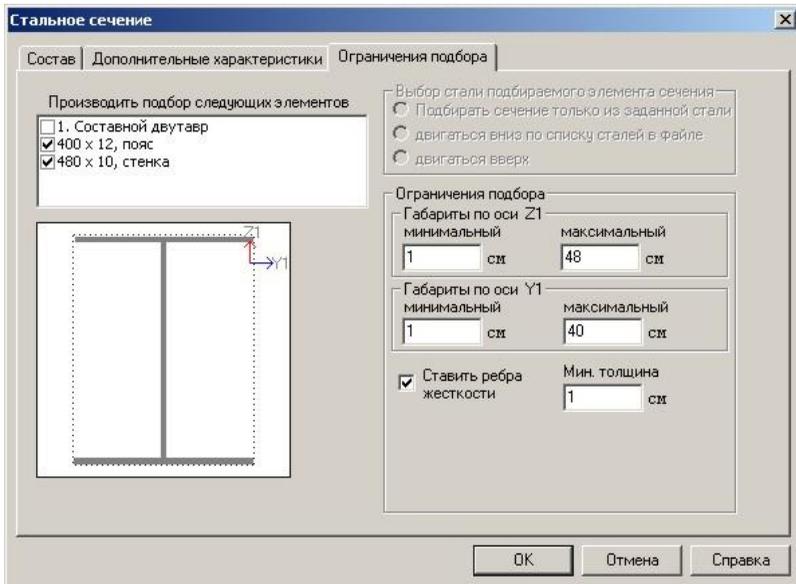


Рис.3.39. Закладка «Ограничения подбора» диалогового окна «Стальное сечение»

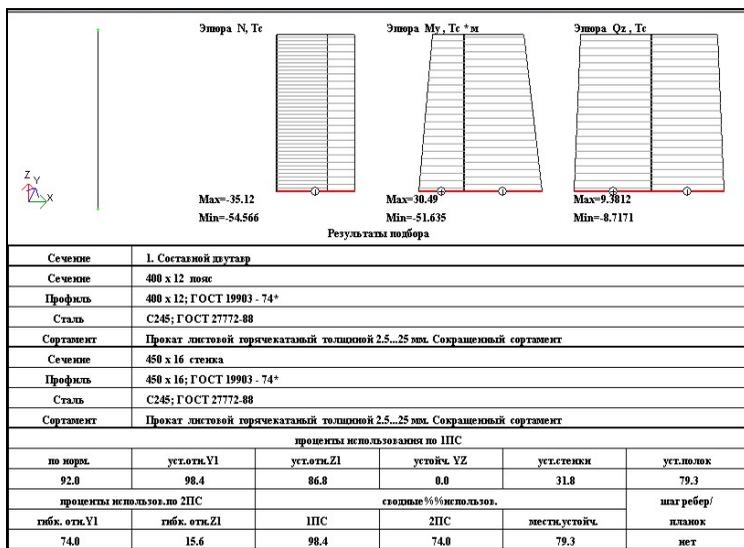


Рис. 3.40. Результаты підбору элементу 5 надкранової частини (над уступом) лівої колони

Збережіть результати і закрийте вікно.

- У основному вікні СТК-САПР клацніть по конструктивному елементу, що складається з двох елементів верхньої частини надкранової колони (ділянка лівої колони від вузла додатку гальмівного навантаження до нижнього поясу ферми). У вікні розрахунку конструктивного елементу, що відкрилося, задайте наступні параметри для розрахункових довжин:
 - відносно осі $Z1=4.15$ м (довжина конструктивного елементу);
 - відносно осі $Y1=17.4$ м;
 - для розрахунку $\Phi b=4.15$ м.
- Для розрахунку φ_b в СТК-САПР даний параметр приймається як для позацентрово-стиснутого елементу, у якого $m_{ef}>20$. В цьому випадку необхідно задавати параметр **Для розрахунку Φb** , рівним розрахунковій довжині колони з площини рами.
- Натисніть кнопку **Перевірка**  на панелі інструментів. Вікно прийме вигляд як на рис. 3.41.

З результатів розрахунку виходить, що верхня частина колони задовольняє перевіркам по нормальних напруженнях, стійкості в площині і з площини рами, місцевої стійкості стінки.

Але переріз надкранової частини слід відкоригувати у відповідності з підбором перерізу над уступом колони. Таким чином остаточно приймаємо переріз надкранової частини колони таким: складений двотавр з перерізом поясу – 400 x 12; стінки – 450 x 16, сталь С245.

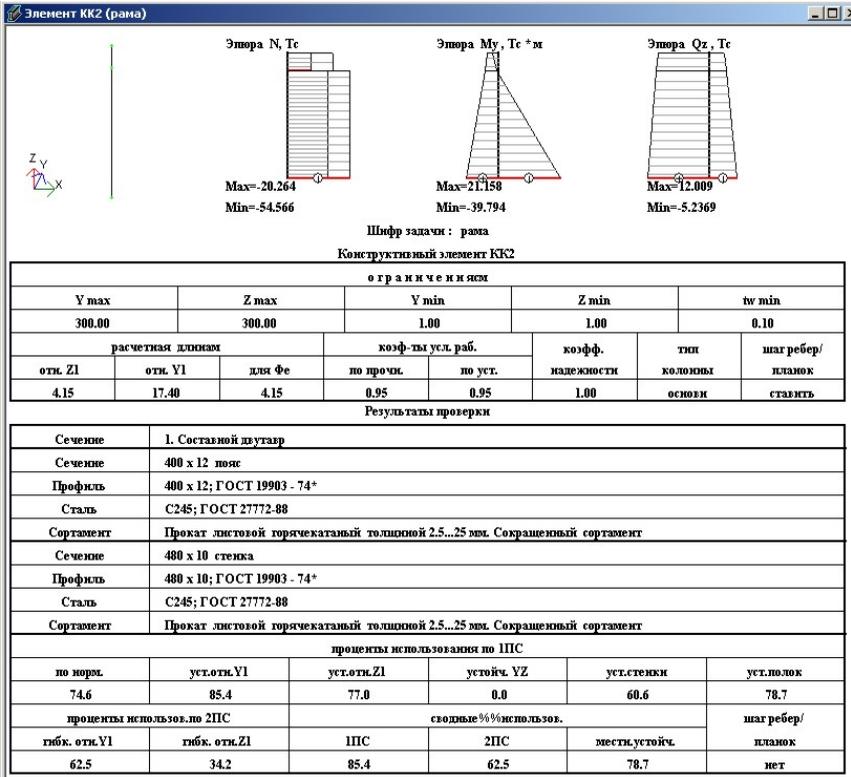


Рис. 3.39. Перевірка конструктивного елемента верхньої частини лівої колони

3.5. Документування результатів розрахунку

Після підбору всіх перерізів елементів поперечної рами поверніться до початкової розрахункової схеми, створеної в ПК ЛПА-САПР. Змініть жорсткості елементів відповідно до результатів розрахунку в СТК-САПР. Можна замінити жорсткості автоматично відповідно до даних з конструюючої системи СТК-САПР. При виконанні цієї функції порядковий номер типу жорсткості не змінюється.

- Для цього в діалоговому вікні **Жесткости элементов** натисніть кнопку . При натисканні на цю кнопку викликається діалогове вікно **Замена жесткостей** (рис.3.40), в якому

задається вид результату та ім'я файлу, з якого цей результат зчитується.

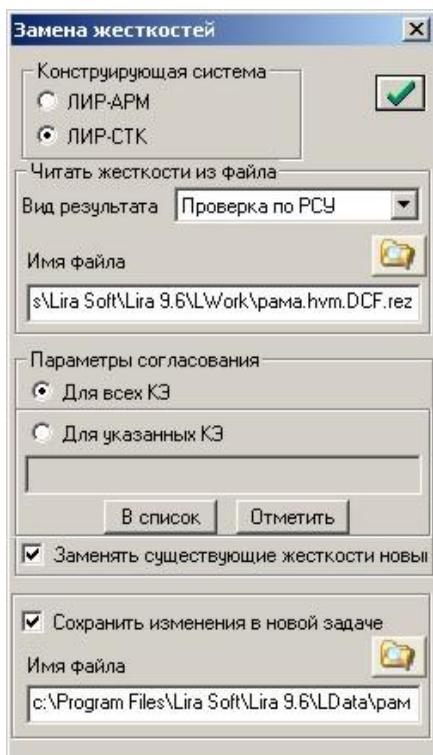


Рис. 3.40. Діалогове вікно «Замена жесткостей»

- Розрахуйте задачу **Режим** ⇒ **Выполнить расчет**. Перейдіть в режим аналізу результатів розрахунку. Ознайомимося із способами документування результатів розрахунку на прикладах.

3.5.1. Друк звіту

Для виведення результатів розрахунку в ПК ЛІРА-САПР звичайно використовуються інтерактивні таблиці. При вході в режим **Интерактивные таблицы** (**Окно** ⇒ **Интерактивные таблицы**) на екрані з'являється діалогове вікно **Редактор форм**. У ньому вибрану у списку форму подвійним клацанням лівої кнопки миші можна відкрити для перегляду, редагування або зберігання

під іншим ім'ям. Також можна створити власну форму. Будь-яку отриману інформацію з редактора форм (таблиці зусиль, розрахункових сполучень зусиль, жорсткостей, навантажень та інше) можна зберегти у форматі MS Excel, або для друку таблиць зусиль з ПК ЛПА-САПР в меню форми виконайте **Файл ⇨ В отчет**.

3.5.2. Використання графічного контейнера

Здійснимо виведення епюр згинаючих моментів.

- У вікні **Флаги рисования** на четвертій закладці **Результаты** встановить прапорець для параметра **Значения на эпюрах**.
- На панелі інструментів натисніть кнопку **Епюри зусиль в стержнях** . На панелі, що з'явилася, натисніть кнопку **Епюри Му** .
- Натисніть кнопку **Добавить изображение** , розташовану у витягнутому уздовж правої сторони екрану вікні (графічний контейнер). У графічному контейнері з'явиться зображення епюр.

Далі перемикайтеся між завантаженнями і додайте зображення в графічний контейнер.

- Викличте в меню **Окно ⇨ Документатор**. Відкриється вікно документатора, в меню якого виконаєте **Редактировать ⇨ Ввести новый лист**. З'явиться поле листу, на якому можна розміщувати раніше створені зображення.
- Виділіть в графічному контейнері перше зображення епюри. Натисніть кнопку **Копировать** .
- У меню документатора виконайте **Редактировать ⇨ Разместить копию**. Вид курсора зміниться, клацніть на полі листа, на листі розміститься зображення епюри, яке можна розтягнути або стиснути за допомогою миші.
- За допомогою меню **Редактирование** можна розмістити текст на листі, змінити формат паперу, заповнити кутовий штамп.

Далі на цей же лист можна розмістити додатково одне або більш зображень епюр.

Зображення епюр можуть бути вставлені в MS Word. Для цього необхідно виділити зображення в графічному контейнері і

натиснути кнопку **Копировать** . Зображення буде поміщене в буфер обміну, з якого в будь-якому документі MS Word воно може бути вставлене командою **Вставить**.

3.6. Проектування одноповерхової промислової будівлі у просторовій постановці

Послідовність і правила виконання автоматизованих розрахунків поперечної рами одноповерхової виробничої будівлі детально викладено у вищенаведеному матеріалі, а в даному прикладі наведені особливості проектування у просторовій постановці.

Каркас промислової будівлі – це просторова багато стержньова багатократно статично-невизначна система. Можливості ПК ЛІРА-САПР дозволяють достатньо швидко створити просторову схему з урахуванням всіх елементів, що входять до складу каркаса. В цьому випадку можливо виконати в СТК-САПР підбір елементів всіх конструкцій: не тільки колон і ригелів, але і в'язів, підкранових балок, фахверків і т.ін.

За основу візьмемо необхідні вищенаведені вихідні дані для однопролітної рами, автоматизований і ручний розрахунок якої наведений відповідно у п.3.3 та п. 4.2. Існуючу плоску розрахункову схему рами перетворимо на просторову. Для цього слід змінити ознаку схеми з другої на п'яту **Схема > Признак схеми** (рис. 3.41), потім виконати копіювання схеми рами з кроком 12 м (рис. 3.42).

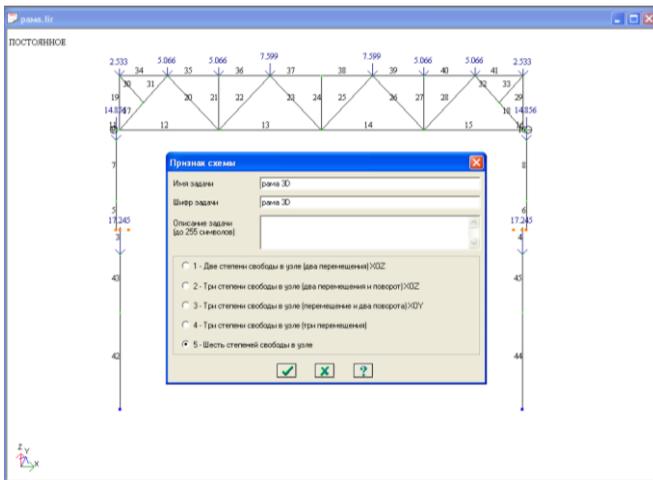


Рис. 3.41. Зміна ознаки схеми

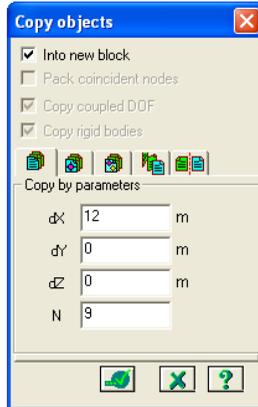


Рис. 3.42. Копіювання рами з кроком 12 м, 9 разів

Далі необхідно додати у розрахункову схему скінченні елементи (СЕ) типу 10, що моделюють елементи горизонтальних і вертикальних в'язей, підкранові балки, прогони у відповідності з існуючими вимогами проектування каркасних систем (рис. 3.43).

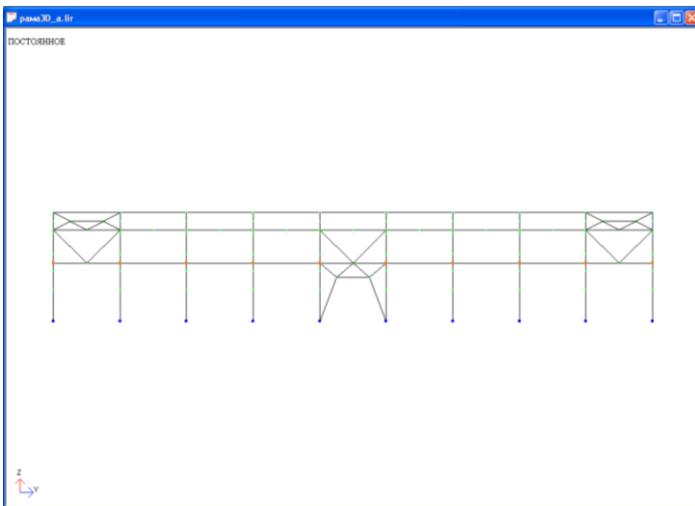


Рис. 3.43. Вид створеної схеми каркасу у площині ZOY

За допомогою в'язей, підкранових балок, прогонів плоскі поперечні рами каркасу об'єднують в єдину просторову систему, здатну сприймати навантаження різних напрямів, що діють на

будівлю, і передавати їх на фундаменти (рис. 3.44). Виконання всіх операцій щодо процесу моделювання розрахункової схеми детально викладений у попередніх підрозділах, тому зупинятися на цьому немає сенсу. Завдання жорсткісних характеристик в'язей прогонів і підкранових балок виконується у відповідності з існуючими нормами СНиП II-23-81* [2] і на основі попереднього досвіду проектування [1, 3, 8 та ін.].

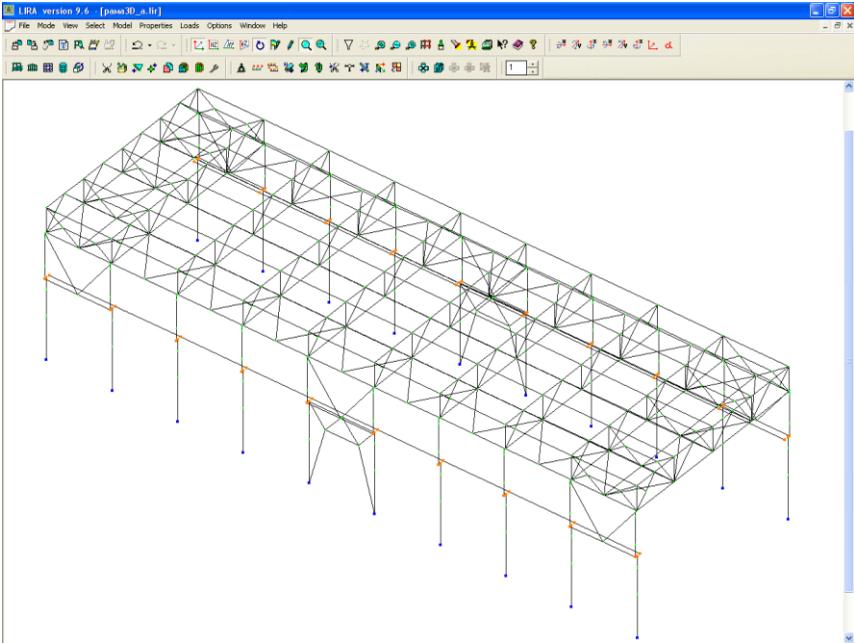


Рис. 3.44. Загальний вигляд просторової моделі каркасу

Схема прикладання навантажень аналогічна той, що наведена у вищенаведених підрозділах при розрахунках рами у плоскій постановці. Для порівняння результатів розрахунку і встановлення напружено-деформованого стану, перш за все, у елементах рами (ригелі і колонах) у плоскій і просторовій постановці і при цьому мінімізувати можливий вплив на результати способу задання навантажень, прийнято, що навантаження задавалися у вузли ферм (як і в плоскій схемі), а не через завантаження прогонів (рис. 3.45, 3.46). Для порівняння див. рис. 3.25, 3.26. Прогони в даному випадку виконують тільки роль в'язей по верхньому поясу ферм.

СНЕГ 1 ВАРИАНТ

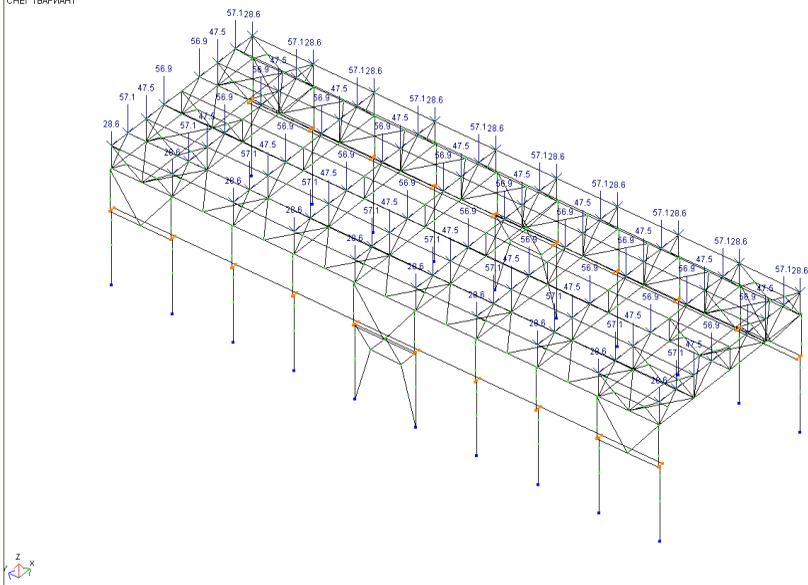


Рис. 3.45. Схема прикладення снігового навантаження (1 варіант)

СНЕГ 2 ВАРИАНТ

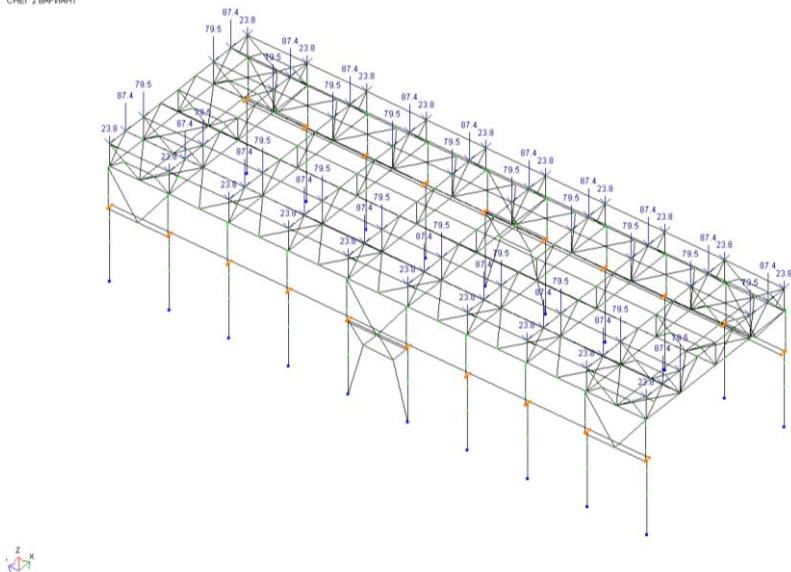


Рис. 3.46. Схема прикладення снігового навантаження (2 варіант)

Після цього слід відкоригувати навантаження на крайні рами, оскільки вантажна площа в 2 рази менша ніж на середні (рис. 3.47).

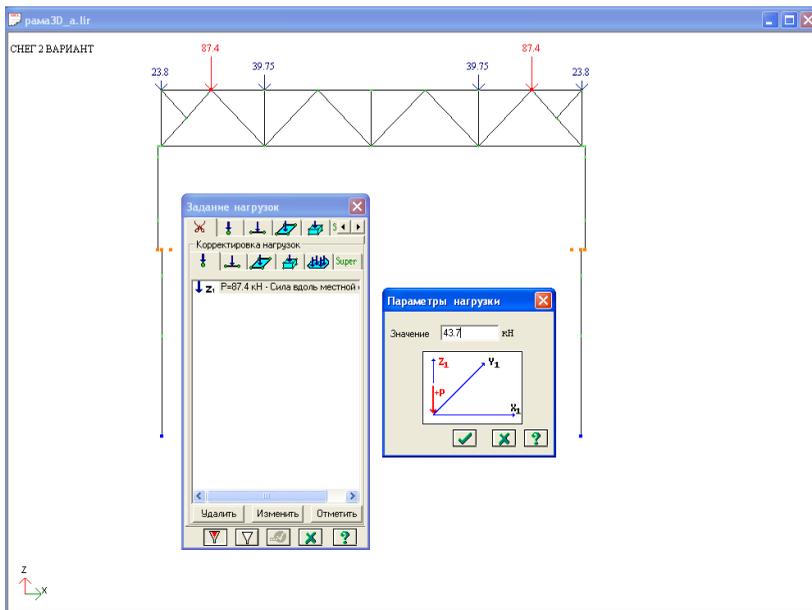


Рис. 3.47. Коригування снігових навантажень

Кранові навантаження у наведеному прикладі це завантаження 4 – 7, їх також треба відкоригувати. У просторовій розрахунковій схемі кранові навантаження прикладаються через підкранові балки, наприклад, на третю раму від торця будівлі, оскільки ця рама не входить до жорсткого блоку і в більшій мірі відповідає роботі плоскій рамі. Значення вертикальних і горизонтальних кранових навантажень беремо із приклада ручного розрахунку п. 4.2.2. Вертикальні кранові навантаження, що передаються на підкранові балки від кожного колеса F_o , F_o' відповідно 331,81 кН та 110,82 кН, сумарна дія восьми коліс (рис. 4.24), повинна відповідати значенням $F_{max} = 1647,96$ кН і $F_{min} = 550,4$ кН. Горизонтальні кранові навантаження від кожного колеса H_k , H_k' відповідно 20,927 кН і 10,46 кН сумарна дія яких повинна відповідати значенням $F_{max} = 103,93$ кН і $F_{min} = 51,97$ кН.

Навантаження від коліс на підкранові балки задаємо як зосереджені сили. Для цього необхідно натиснути на закладці **Нагрузки на стержни** діалогового вікна **Задание нагрузок** кнопку . У діалоговому вікні, що відкрилося, ввести параметри діючої сили та відстані від початку скінченного елемента до місця її прикладання, (рис. 3.48) $P=331.81$ кН, $A=6.15$ м. Виділити елемент підкранові балки, натиснути кнопку . Аналогічні дії виконати для задання навантажень від всіх коліс крана.

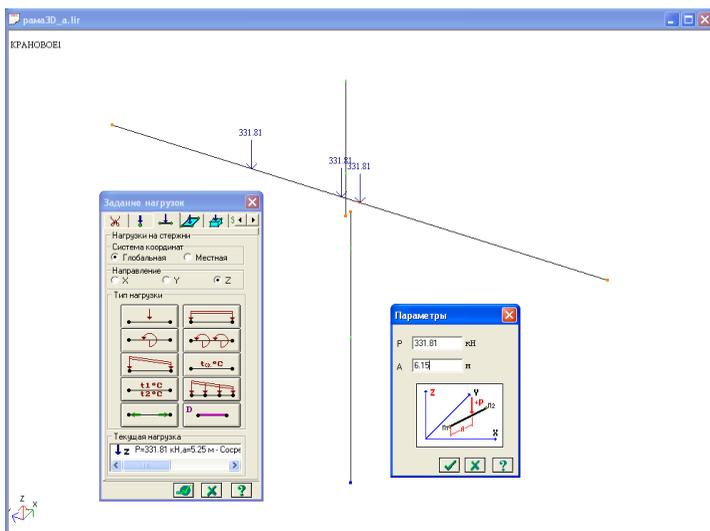


Рис. 3.48. Фрагмент схеми в ході задання вертикальних навантажень на підкранові балки (завантаження 4)

Задання навантажень на підкранові балки з правого боку рами можна виконувати шляхом коригування попередньо заданих навантажень, що задавалися для балок з лівого боку рами. Оскільки крок прикладання зосереджених сил однаковий, то слід змінити тільки значення навантаження, це скоротить час вихідних даних (рис. 3.49). Для використання такого прийому в ході задання навантажень на балки з лівого боку рами слід також виділяти елементи схеми, що моделюють балки з правого боку рами, а потім виконати їх коригування. Остаточний вигляд завантаження 4 наведений на рис. 3.50.

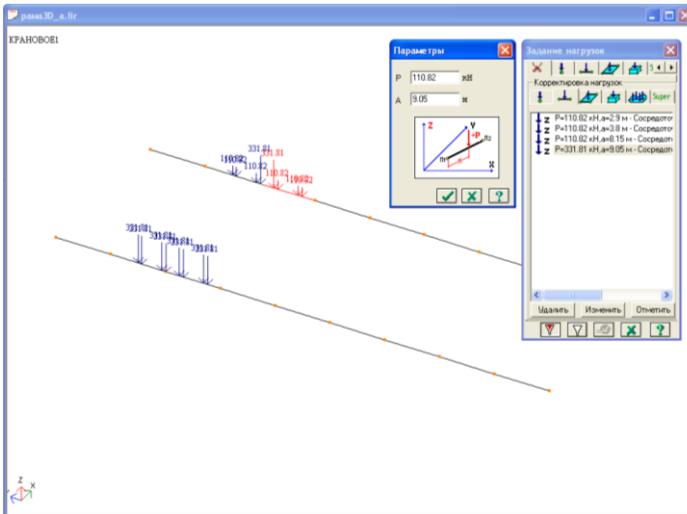


Рис. 3.49. Фрагмент розрахункової схеми в ході корегування навантажень (завантаження 4)

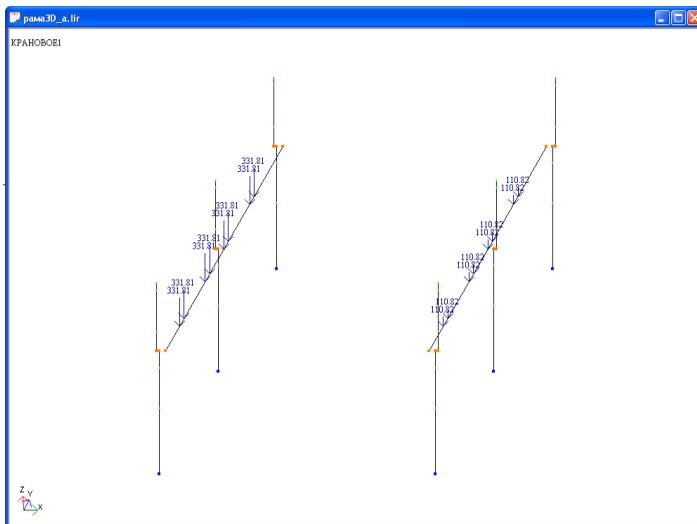


Рис. 3.50. Фрагмент розрахункової схеми після задання всіх навантажень завантаження 4

Завантаження 5-7 виконувати аналогічно вищеведеному прикладу, загальний вигляд цих завантажень наведений на рис. 3.51 – 3.53.

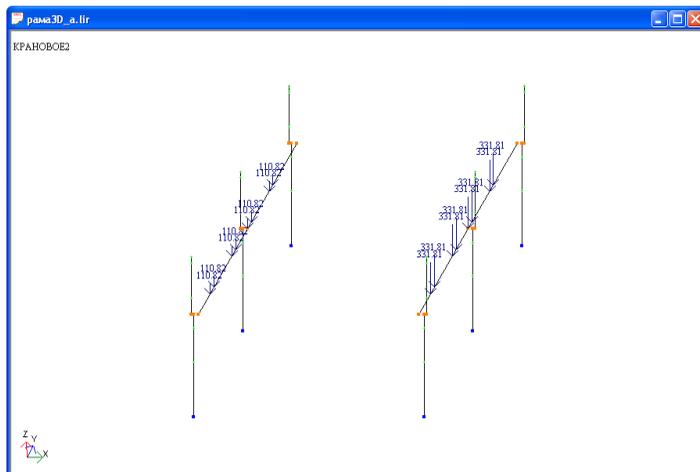


Рис. 3.51. Фрагмент розрахункової схеми після прикладання всіх навантажень завантаження 5

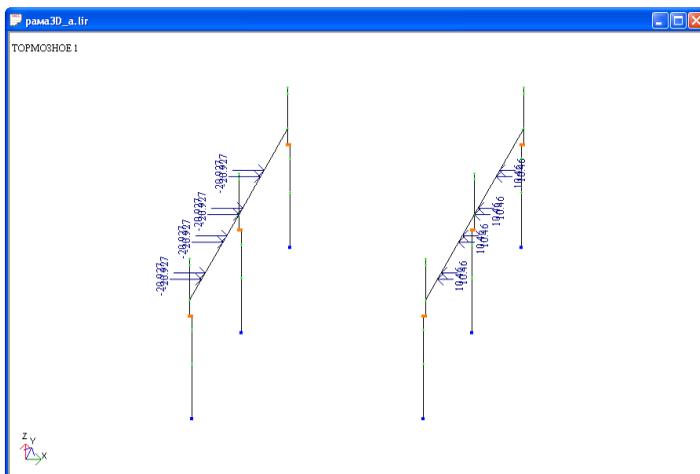


Рис. 3.52. Фрагмент розрахункової схеми після задання всіх навантажень завантаження 6

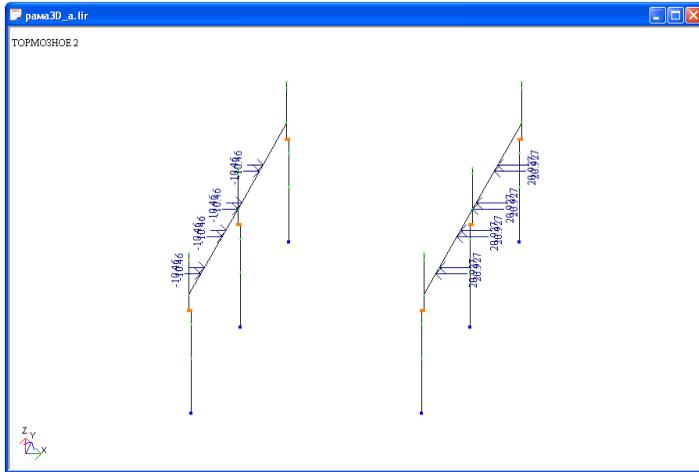


Рис. 3.53. Фрагмент розрахункової схеми після прикладання всіх навантажень завантаження 7

Вітрові навантаження прикладені до колон рам і їх значення залишаються тими ж, що у наведеному прикладі розрахунку плоскої рами див. п. 3.3.4, де досить детально викладена послідовність задання навантажень. Необхідно тільки відкоригувати навантаження на крайні рами, оскільки вантажна площа в 2 рази менша ніж на середні (рис. 3.54 *a, б*). Загальний вигляд розрахункової схеми після задання завантаження 8 наведений на рис. 3.55.

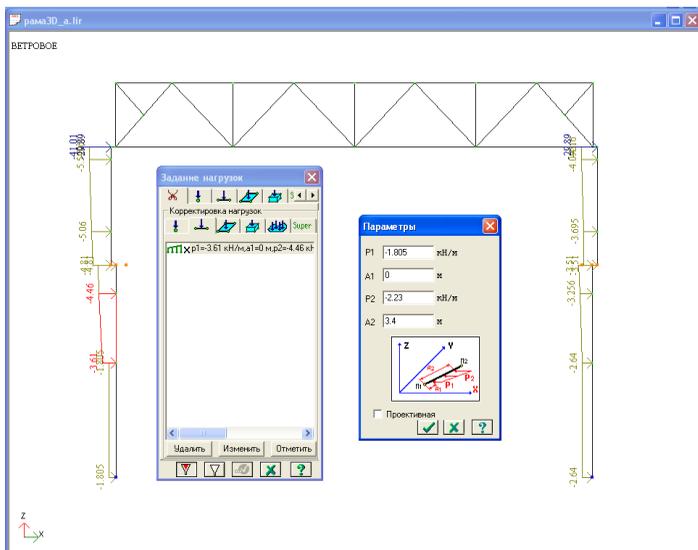


Рис. 3.54 а. Коригування вітрових навантажень у крайніх рамах (вигляд у площині ZOX)

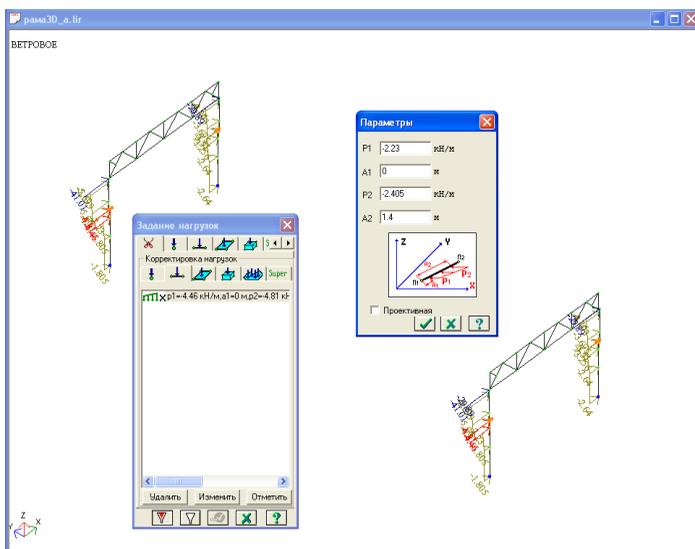
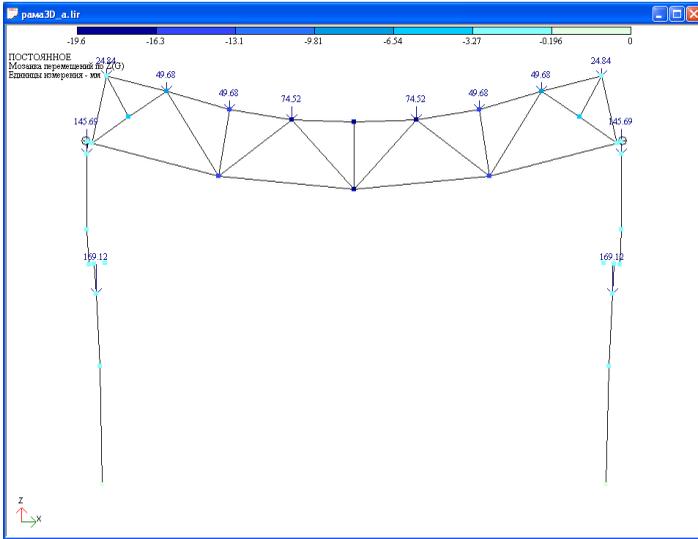
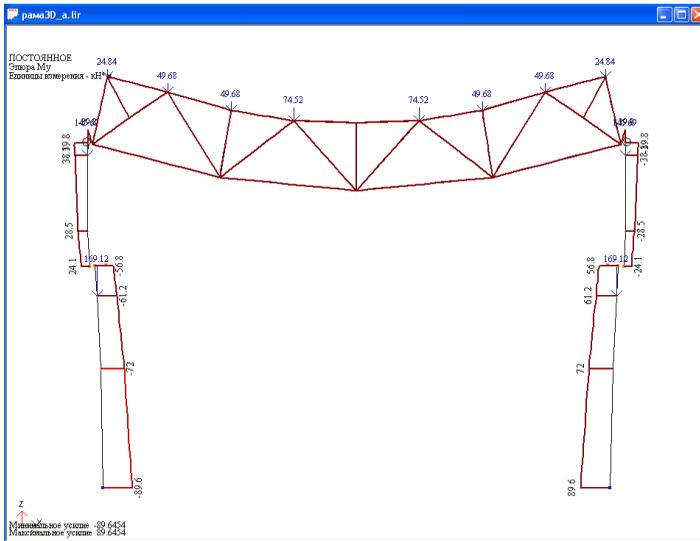


Рис. 3.54 б. Фрагмент схеми в ході коригування вітрових навантажень



a)



б)

Рис. 3.56. Результаты розрахунку: а) деформована схема з мозаїкою переміщень; б) епюра M_x для третьої рами з торця будівлі від завантаження 1

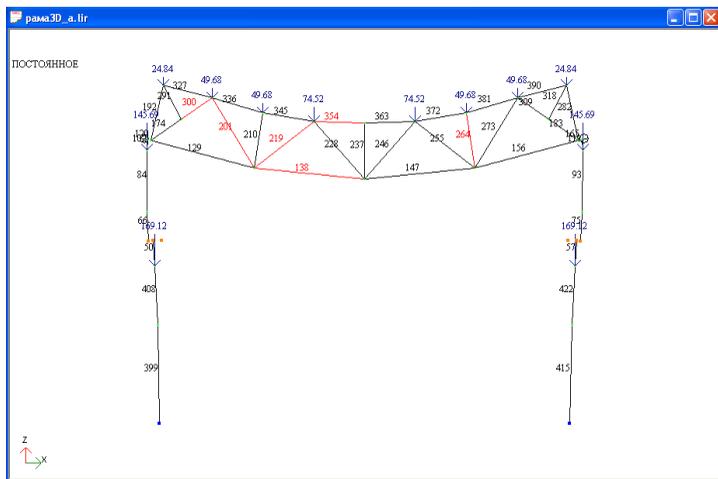


Рис. 3.57. Деформована схема з позначенням характерних елементів рами

Таблиця РСУ												
Файл Редактировать Опции												
Таблиця РСУ												
№ элем	№ сечен	Тип РСУ	Край/сейсм	Состав РСУ	Критерий	Условия						МР нагруз
						N (кН)	Nx (кН*м)	Ny (кН*м)	Oz (кН)	Nz (кН*м)	Sy (кН)	
138	1	1	-	длит	1	631.811	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
138	1	1	-	поли	1	631.811	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
138	2	1	-	длит	1	631.811	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
138	2	1	-	поли	1	631.811	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
201	1	1	-	длит	1	315.966	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
201	1	1	-	поли	1	315.966	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
201	2	1	-	длит	1	315.966	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
201	2	1	-	поли	1	315.966	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
219	1	1	-	длит	2	-181.660	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
219	1	1	-	поли	2	-181.660	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
219	2	1	-	длит	2	-181.660	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
219	2	1	-	поли	2	-181.660	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
264	1	1	-	длит	2	-129.256	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 3
264	1	1	-	поли	2	-129.256	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 3
264	2	1	-	длит	2	-129.256	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 3
264	2	1	-	поли	2	-129.256	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 3
300	1	1	-	длит	2	-456.253	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 3
300	1	1	-	поли	2	-456.253	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 3
300	2	1	-	длит	2	-456.253	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 3
300	2	1	-	поли	2	-456.253	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 3
354	1	1	-	длит	2	-641.570	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
354	1	1	-	поли	2	-641.570	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
354	2	1	-	длит	2	-641.570	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2
354	2	1	-	поли	2	-641.570	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 2

Рис. 3.58. Таблица РСУ для виділених елементів ферми

Це обумовлено тим, що у просторовій розрахунковій схемі враховано багато додаткових аспектів і більш точно змодельована конструктивна схема каркасу. Наприклад, у плоскій постановці

розрахунку рами каркасної будівлі не враховується наявність горизонтальних в'язей, що відповідно призводить до збільшення значення згинальних моментів у жорстких з'єднаннях колон з фундаментами. А у реальній роботі каркасу навантаження, що діють на плоску раму через систему в'язей, прогонів, підкранових балок частково передаються на сусідні, тим самим виконується перерозподіл зусиль.

Якщо узагальнити вищенаведене, то можна прийти до давно відомих істин, що розрахунок у плоскій постановці більш простий у реалізації, але отримані результати можуть дещо відрізнятись від діючих зусиль у конструкціях. А розрахункова схема тієї ж самої споруди у просторовій постановці може бути набагато складніша і її складання може займати набагато більше часу і зусиль, але ж це повинно бути обґрунтовано необхідністю виконання таких розрахунків і отримання більш точних результатів. Тому інженер-конструктор повинен мати чітку уяву щодо роботи тих чи інших конструкцій і знати коли можна виконувати розрахунки простими способами, а іноді у окремих випадках необхідно їх перевіряти більш точними розрахунками.

3.7. Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи

1. Опишіть алгоритм моделювання колони з використанням жорстких вставок.
2. Опишіть алгоритм моделювання одноповерхового поперечника промислового будинку.
3. Опишіть алгоритм моделювання ферми.
4. Опишіть порядок задання навантажень при створенні розрахункової схеми.
5. Опишіть види навантажень і покажіть способи їхнього задання.
6. Для чого служить поняття «Розрахункові сполучення зусиль»? Особливості задання РСЗ в ПК ЛІРА-САПР.
7. Які ви знаєте функції меню «Корегування». Опишіть порядок додавання, розділення, видалення стержнів.
8. Як відобразити на схемі розміри, висотні відмітки, вісі?
9. Опишіть метод моделювання стику верхньої надкранової гілки колони з нижньою підкрановою гілкою складеного перерізу.
10. Опишіть термін стиковка. В яких випадках він застосовується?
11. Як перевірити коректність задання перерізів.
12. Опишіть режим 3D візуалізації.
13. Опишіть режим формування розрахункових сполучень зусиль (PCY)?
14. Які ви знаєте параметри таблиці PCY? Опишіть їх призначення.
15. Опишіть алгоритм задання кранових навантажень.
16. Опишіть схему та алгоритм задання вітрового навантаження.
17. Як здійснюється перевірка та підбір перерізів елементів рами?
18. Які необхідні додаткові характеристики для конструювання колони?
19. Опишіть закладку **Ограничение подбора** (обмеження підбору) діалогового вікна **Стальное сечение**.
20. Опишіть процес документування результатів розрахунку.

РОЗДІЛ 4. ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ БАЛКОВОЇ КЛІТКИ ТА СТАЛЕВОГО КАРКАСУ ОДНОПОВЕРХОВОЇ ВИРОБНИЧОЇ БУДІВЛІ ТРАДИЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ

Як вже було зазначено вище, основна мета цього посібника полягає у опануванні студентами методів розрахунку і конструювання металевих конструкцій за допомогою комп'ютерних технологій, зокрема ПК ЛІРА-САПР. Але головне в цьому не просто ознайомитись з можливостями програмного комплексу та знати як правильно скласти розрахункову схему окремої конструкції чи будівлі в цілому, а вміти проаналізувати отримані результати, мати певний досвід і знання за якими законами працює конструкція, які переваги та недоліки тієї чи іншої конструктивної схеми, форми перерізів елементів конструкцій і т.п. Тому для набуття студентами початкових навичок і вміння аналізувати отримані результати комп'ютерних розрахунків, для порівняння наведені приклади ручних розрахунків несучих елементів балкової клітки та поперечної рами одноповерхової виробничої будівлі в об'ємі першого і другого курсових проектів за дисципліною «Металеві конструкції». Можливості комп'ютерних технологій проектування металевих конструкцій демонструються на досить простих прикладах перш за все для того, щоб можна було уявити, навіть для початківців, всі особливості моделювання розрахункових схем та легко співпоставляти і аналізувати результати ручних і комп'ютерних розрахунків. Оскільки посібник присвячений вивченню саме комп'ютерних технологій проектування металевих конструкцій, то теоретичний матеріал інженерних розрахунків наведено в стислій формі обмежуючись рамками курсового проекту. Для ґрунтовного вивчення питань проектування будівельних металевих конструкцій ми адресуємо зацікавленого читача до відповідної літератури, наприклад [1-3, 8, 9, 15] та ін. А далі ми продемонструємо стандартні розрахунки на окремо взятих прикладах балкової клітки з поверховим спиранням допоміжних балок на головну, та поперечної рами однопрілітної промислової будівлі з шарнірним спиранням ригеля на колони.

4.1. Приклад розрахунку елементів балкової клітки виробничої будівлі

4.1.1. Загальні положення проектування балкових кліток

Балки, що підтримують перекриття, можна розташовувати в одному чи в двох напрямках. Конструкція, що складається із системи несучих балок, називається балковою кліткою. На балкову клітку укладають настил у вигляді металевих листів (робочі площадки цехів, гідротехнічні конструкції), залізобетонних плит та ін. Балкова клітка складається з головних балок, що перекривають великий проліт, і допоміжних балок (рис. 4.1). Головні балки спираються на опори, а допоміжні балки – на головні. При проектуванні балкових конструкцій необхідно в залежності від призначення балок скласти схему їхнього розташування, намітити генеральні розміри і визначити навантаження, що діють на балки.

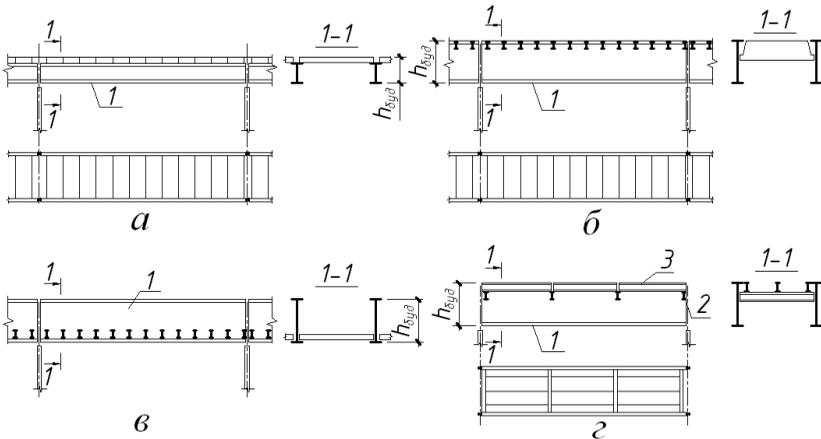


Рис. 4.1. Типи балочних кліток: 1 – головна балка; 2 – допоміжні балки; 3 – балки настилу

Розрізняють наступні типи балкових кліток: I) з поверховим розташуванням допоміжних балок – нормальний тип (рис. 4.1, а); II) з розташуванням допоміжних балок в одному рівні з головними балками (рис. 4.1, б); III) зі зниженим розташуванням допоміжних балок (рис. 4.1, в) IV) із трьох систем балок: головних, допоміжних і балок настилу (рис. 4.1, г) – ускладнений тип. Вибір типу балкової

клітки визначається заданими габаритами необхідними для певних умов експлуатації, а також виходячи із економії матеріалу і доцільності застосування того чи іншого типу клітки.

4.1.2. Компонування конструктивної схеми перекриття

Користуючись основними даними завдання та необхідною літературою [1-3] та ін., необхідно намітити конструктивну схему балкової клітки з позначенням всіх елементів (балок, колон, в'язів) та їх генеральних розмірів (рис.4.2).

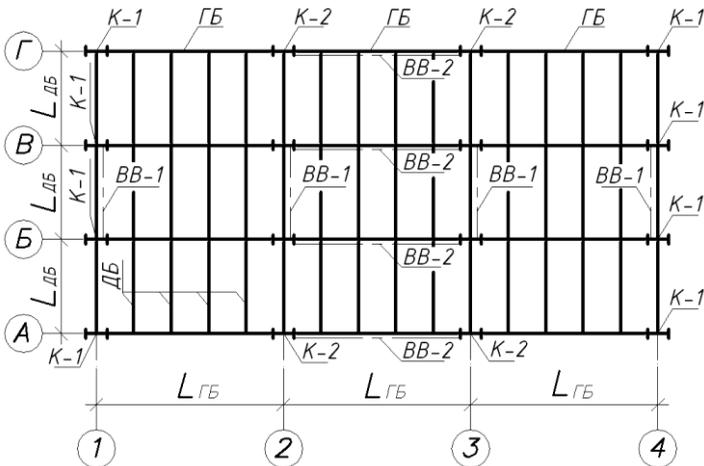


Рис. 4.2. План балкової клітки: ГБ – головні балки, ДБ – допоміжні балки, BB-1, BB-2 – вертикальні в'язі по колонах, К-1, К-2 – центрально-стиснені колони

Рациональна схема балкової клітки встановлюється на основі техніко-економічного аналізу різних варіантів. Даний аналіз є своєрідною дослідницькою роботою студента.

При складанні варіантів компоновки балкової клітки передбачається, що прольоти, крок головних балок і кількість опор задані. Величини, що змінюються: а) проліт настилу; б) товщина настилу.

4.1.3. Розрахунок настилу і допоміжних балок

Вихідні дані для проектування настилу і допоміжних балок (за завданням):

проліт допоміжної балки $L_{д.б.} = 4$ м;

рівномірно-розподілене навантаження на настил $P_n = 24,5$ кПа;

сталь марки С 245 з розрахунковим опором $R_y = 240$ МПа.

Розрахунок настилу

Витрати металу на балкову клітку залежить в основному від прийнятої відстані між допоміжними балками. Тому для забезпечення економічності прийнятого рішення треба зробити техніко-економічний аналіз декількох варіантів балкової клітки з різним кроком допоміжних балок. Необхідно розрахувати три варіанти за існуючими формулами, потім, порівнявши отримані результати, вибрати оптимальний варіант. Спочатку потрібно встановити відношення прольоту настилу до його товщини, що забезпечує жорсткість настилу, за наступною формулою:

$$\frac{l_n}{t_n} = \frac{4n_0}{15} \left(1 + \frac{72 \cdot E_1}{n_0^4 \cdot P_n} \right); \quad (4.1)$$

l_n – проліт настилу (відстань між осями допоміжних балок);

t_n – товщина настилу; $n_0 = \frac{1}{[f/l_n]}$ – величина, зворотна

допустимому прогину настилу; допустимий прогин настилу

приймається в межах $\frac{f}{l_n} = \frac{1}{n_0} = \frac{1}{150} \div \frac{1}{200}$, відповідно $n_0 = 150 \div 200$.

$$E_1 = \frac{E}{1 - \mu^2} = \frac{2,06 \cdot 10^5}{1 - 0,3^2} = 2,26 \cdot 10^5 \text{ (МПа)} = 2,26 \cdot 10^8 \text{ (кПа)};$$

E – модуль пружності; E_1 – приведений модуль пружності;

μ – коефіцієнт Пуассона;

P_n – характеристичне значення рівномірно розподілене навантаження;

f – прогин настилу.

Приклад розрахунку одного з варіантів настилу:

$$\frac{l_n}{t_n} = \frac{4 \cdot 150}{15} \left(1 + \frac{72 \cdot 2,26 \cdot 10^5}{150^4 \cdot 24,5 \cdot 10^{-3}} \right) = 92,56.$$

Відповідно до отриманого відношення підбираємо проліт настилу і його товщину. Призначивши l_n , знаходимо t_n , чи навпаки. У залежності від величини корисного навантаження за табл. 2.1 можна призначити товщину настилу. Міцність і жорсткість настилу забезпечується, приймаючи $t_n \geq t_n^{mp}$, причому товщину настилу необхідно приймати відповідно до сортаменту (6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14 мм), за ГОСТ 19903 – 74*, [6].

l_n варто приймати кратним 10 см.

Приймаємо товщину настилу $t_n = 11$ мм, тоді

$l_n = t_n \cdot 92,56 = 101,8$ см. Приймаємо $l_n = 100$ см.

Таблиця 4.1

Товщина настилу, що рекомендується при відповідному навантаженні

Корисне навантаження P_n , (кПа)	Товщина сталевого настилу t_n , мм
≤ 10	6
≤ 20	7 – 10
> 20	11 – 14

Визначення навантаження на допоміжну балку

Для обраного варіанта розташування допоміжних балок (рис. 4.3), треба визначити характеристичне і граничне розрахункове навантаження на допоміжну балку за формулою:

$$q_n = (P_n + g_n) \cdot l_n; \quad (\text{кН/м}) \quad (4.2)$$

$$q = (\gamma_f \cdot P_n + \gamma_{с.в.} \cdot g_n) \cdot l_n; \quad (\text{кН/м}) \quad (4.3)$$

q_n – характеристичне значення навантаження на допоміжну балку; g_n – навантаження від власної ваги настилу в кПа; q – розрахункове навантаження на допоміжну балку; γ_f – коефіцієнт надійності за навантаженням для корисного навантаження $\gamma_f = 1,2$;

$\gamma_{c.v.}$ – коефіцієнт надійності по навантаженню для постійного навантаження (власну вагу) приймайте $\gamma_{c.v.} = 1,05$.

$$g_n = \rho \cdot t_n ; \quad (\text{кПа}) \quad (4.4)$$

де ρ – щільність сталі, $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3 \approx 77 \text{ кН/м}^3$;

t_n – прийнята товщина настилу в м; l_n – проліт настилу в м.

$$g_n = 77 \cdot 0,011 = 0,847 \text{ кПа};$$

$$q_n = (24,5 + 0,847) \cdot 1 = 25,35 \text{ кН/м};$$

$$q = (24,5 \cdot 1,2 + 0,847 \cdot 1,05) \cdot 1 = 30,29 \text{ кН/м}.$$

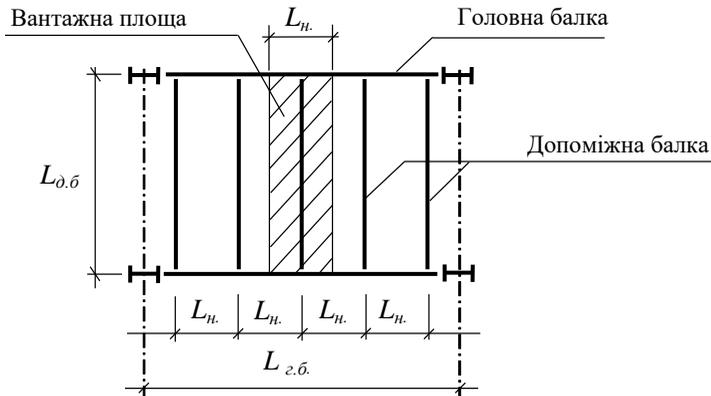


Рис. 4.3. Схема розташування елементів перекриття

Підбір перерізу прокатного двотавра

Визначаємо згинальний момент, що виникає в допоміжній балці за формулою:

$$M = \frac{q \cdot l_{д.б.}^2}{8}; \quad (\text{кН м}) \quad (4.5)$$

$l_{д.б.}$ – проліт допоміжної балки в м, приймати за завданням.

Визначаємо необхідний момент опору за формулою:

$$W_{TP} = \frac{M}{c \cdot R_y \cdot \gamma_c}; \quad (\text{см}^3), \quad (4.6)$$

де c – коефіцієнт, що враховує роботу сталі в пружно-пластичній стадії; для двотаврових перетинів $c = 1,12$; R_y – розрахунковий опір

сталі по границі текучості в МПа приймайте по табл. 51*, [2].
 Марку сталі приймайте за завданням, γ_c – коефіцієнт умови роботи,
 приймає $\gamma_c = 1$.

Виконуємо розрахунок:

$$M = \frac{30,29 \cdot 4^2}{8} = 60,58 \text{ кНм}.$$

За завданням сталь марки С 245 з розрахунковим опором
 $R_y = 240$ МПа.

$$W_{TP} = \frac{60,58 \cdot 10^{-3}}{1,12 \cdot 240 \cdot 1} = 2,254 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 = 225,4 \text{ см}^3.$$

Відповідно до отриманого значення W_{TP} підбираємо за
 сортаментом прокатних двотаврів по ГОСТ 8239-89, [7], двотавр
 $W_x \geq W_{TP}$ і виписуємо його характеристики. Двотавр № 22 з
 моментом опору $W=232 \text{ см}^3$, $I_x=2550 \text{ см}^4$, $m = 24,0 \text{ кг/м}$.

Підібравши переріз допоміжної балки, студент повинен
 перевірити його достатність. Попередньо необхідно уточнити
 величину навантаження з урахуванням власної маси допоміжної
 балки:

$$g_n = \rho \cdot t_H + \frac{m_{e.b.}}{l_H} \cdot 9,81 \cdot 10^{-3}; \quad (\text{кПа}) \quad (4.7)$$

t_n – товщина настилу в м; $m_{e.b.}$ - власна маса двотавра (допоміжної
 балки) у кг/м, визначати за сортаментом.

$$g_n = 77 \cdot 0,011 + \frac{24,0}{1,0} \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} = 1,082 \text{ кПа}.$$

Величину нормативного навантаження уточнити за формулою
 (4.2), розрахункового за формулою (4.3), величину розрахункового
 згинаючого моменту за формулою (4.5).

Виконуємо необхідні уточнення:

$$q_n = (24,5 + 1,082) \cdot 1 = 25,58 \text{ кН/м};$$

$$q = (24,5 \cdot 1,2 + 1,082 \cdot 1,05) \cdot 1 = 30,54 \text{ кН/м};$$

$$M = \frac{30,54 \cdot 4^2}{8} = 61,10 \text{ кНм};$$

$$W_{TP} = \frac{61,10 \cdot 10^{-3}}{1,12 \cdot 240 \cdot 1} = 2,273 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 = 227,3 \text{ см}^3$$

Значення уточненого моменту опору не перевищує значення обраного за сортаментом. Отже, номер двотавра залишається без змін.

Перевірка міцності допоміжної балки

Підбравши переріз допоміжної балки, необхідно перевірити міцність за формулою:

$$\sigma = \frac{M}{c \cdot W_{TP}} \leq \gamma_C \cdot R_y; \quad (\text{МПа}) \quad (4.8)$$

W_{TP} - момент опору для прийнятого перерізу балки в м^3 .

Якщо умова (4.8) виконується, міцність допоміжної балки забезпечена, якщо не виконується – необхідно збільшити номер двотавра і повторити перевірку.

Перевіряється міцність допоміжної балки:

$$\sigma = \frac{61,10 \cdot 10^{-3} (\text{МНм})}{1,12 \cdot 2,32 \cdot 10^{-4} (\text{м}^3)} = 235,14 (\text{МПа}) < 240 (\text{МПа}) \cdot$$

Умова виконується.

Перевірка жорсткості допоміжної балки

Жорсткість балки перевіряють порівнянням фактичного прогину з припустимим за формулою:

$$\frac{f}{l_{в.б.}} = \frac{5 \cdot q_n \cdot l_{в.б.}^3}{384 \cdot EI_x} \leq \left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{250}; \quad (4.9)$$

q_n – характеристичне значення навантаження на допоміжну балку, визначене по (4.2) з уточненням; $l_{в.б.}$ – проліт допоміжної балки в м, приймати за завданням; E – модуль пружності; приймати $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа; I_x – момент інерції перерізу допоміжної балки, приймати за сортаментом для відповідного номера двотавра;

$\left[\frac{f}{l} \right]$ – допустимий відносний прогин допоміжної балки, приймають

$$\text{рівним } \left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{250} \cdot$$

Якщо умова (4.9) виконується, жорсткість балки забезпечена, якщо не виконується – необхідно збільшити номер двотавра і повторити перевірку.

Виконуємо перевірку жорсткості допоміжної балки:

$$\frac{f}{l_{e.б.}} = \frac{5 \cdot 25,58 \cdot 4^3}{384 \cdot 2,06 \cdot 10^8 \cdot 2550 \cdot 10^{-8}} = \frac{1}{246} > \left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{250}.$$

Умова не виконується, тому необхідно збільшити переріз балки. Найближчий більший номер двотавра за ГОСТ 8239-89, [7] це двотавр № 24, $W=289 \text{ см}^3$, $I_x=3460 \text{ см}^4$, $m = 27,3 \text{ кг/м}$. Тепер, маючи нові значення, необхідно уточнити величину навантаження з урахуванням власної маси допоміжної балки і повторити розрахунок:

$$g_n = 77 \cdot 0,011 + \frac{27,3}{1,0} \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} = 1,115 \text{ кПа};$$

$$q_n = (24,5 + 1,115) \cdot 1 = 25,61 \text{ кН/м};$$

$$q = (24,5 \cdot 1,2 + 1,115 \cdot 1,05) \cdot 1 = 30,57 \text{ кН/м};$$

$$M = \frac{30,57 \cdot 4^2}{8} = 61,14 \text{ кНм};$$

$$\frac{f}{l_{e.б.}} = \frac{5 \cdot 25,61 \cdot 4^3}{384 \cdot 2,06 \cdot 10^8 \cdot 3460 \cdot 10^{-8}} = \frac{1}{334} < \left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{250}.$$

Умова виконується. Остаточоно приймаємо переріз допоміжної балки з двотавра № 24.

Підібравши переріз допоміжної балки, необхідно визначити приведену масу настилу і балки (віднесену до одиниці площі) за формулою:

$$m = 7850 \cdot t_H + \frac{m_{e.б.}}{l_H}; \quad (\text{кг/м}^2) \quad (4.10)$$

t_H – товщина настилу в м; $m_{e.б.}$ – маса погонної довжини 1м допоміжної балки в кг/м, визначати за сортаментом; l_H – проліт настилу в м. Визначаємо приведену масу настилу і балки для першого варіанта:

$$m = 7850 \cdot 0,011 + \frac{27,3}{1} = 113,65 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}.$$

Необхідно прорахувати ще два варіанти балкової клітки з різною товщиною настилу і різним кроком допоміжних балок,

потім, порівнявши отримані результати по приведеній масі настилу і балки, вибрати оптимальний. Найбільш економічний варіант настилу і допоміжної балки, прийняти остаточним і для нього виконати розрахунок кутових швів.

Розрахунок кутових швів

Відповідно до прийнятої розрахункової схеми настил розглядається як пластина, яка згинається по циліндричній поверхні, що спирається по двох сторонах на шарнірно-рухливі опори.

Для забезпечення прийнятих у розрахунковій схемі кінематичних умов на опорах необхідно настил приварювати по всій довжині допоміжних балок.

Необхідну величину катета шва K_f необхідно визначити з розрахунку на зріз по двох перерізах: по металу шва, і по металу границі сплавки.

Розрахунок по металу шва:

$$K_f \geq \frac{H}{\beta_f l_w R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c}; \quad (\text{мм}) \quad (4.11)$$

Розрахунок по металу границі сплавлення:

$$K_f \geq \frac{H}{\beta_z l_w R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c}; \quad (\text{мм}) \quad (4.12)$$

H – поздовжня сила (розпір), яка виникає в настилі на 1 погонний см довжини, і визначається по (4.13):

$$H = \gamma_p \cdot \frac{\Pi^2}{4} \left[\frac{f}{l} \right]^2 \cdot \frac{E}{1 - \mu^2} \cdot t_H; \quad (\text{МН/м}) \quad (4.13)$$

γ_p – коефіцієнт перевантаження для корисного навантаження, $\gamma_p = 1,2$;

$\left[\frac{f}{l_H} \right]$ – допустимий відносний прогин настилу, рівний $\left[\frac{f}{l_H} \right] = \frac{1}{150}$;

E – модуль пружності; приймати $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа;

μ – коефіцієнт Пуассона, $\mu = 0,3$; t_H – товщина настилу в м;

l_w – розрахункова довжина шва; приймати рівної $l_w = 1$ см;

β_f, β_z – коефіцієнти, що повинні прийматися при зварюванні елементів із границею текучості до 580 МПа по табл. 34*, [2], із границею текучості більш 580 МПа – $\beta_f = 0,7$ і $\beta_z = 1,0$;

γ_{wf}, γ_{wz} – коефіцієнти умов роботи шва, приймати рівними одиниці;
 R_{wf} – розрахунковий опір до умовного зрізу по металі шва, приймати по табл. 56, [2];

R_{wz} – розрахунковий опір умовному зрізу кутового шва по металу границі сплавки, приймати $R_{wz}=0.45 \cdot R_{um}$;

R_{um} – тимчасовий опір сталі розриву приймати по табл. 51*, [2], в залежності від марки сталі і товщини прокату. Катет шва приймати не менш більшої з отриманих по (4.11) і (4.12) величин і не менш зазначених у табл. 38*, [2].

Виконують розрахунок для обраного варіанта настилу і балкової клітки:

$$H = 1,2 \frac{3,14^2}{4} \left[\frac{1}{150} \right]^2 2,26 \cdot 10^5 \cdot 0,011 = 0,327 \text{ МН/м} = 3,27 \text{ кН/см.}$$

Розрахунок по металу шва:

$$K_f \geq \frac{0,327}{0,7 \cdot 1 \cdot 180 \cdot 1 \cdot 1} = 0,00259 \text{ м} = 2,59 \text{ мм.}$$

Розрахунок по металу границі сплавки:

$$K_f \geq \frac{0,327}{1 \cdot 1 \cdot 166,5 \cdot 1 \cdot 1} = 0,00196 \text{ м} = 1,96 \text{ мм.}$$

Катет шва приймати не менш більшої з отриманих величин, приймаємо $K_f = 3 \text{ мм}$.

4.1.4. Розрахунок головної балки

Вихідні дані для проектування головної балки (за завданням):

- проліт головної балки $L_{г.б.} = 13 \text{ м}$;

- сталь марки С 245 з розрахунковим опором $R_y = 240 \text{ МПа}$.

Визначення навантаження на головну балку

Навантаження на головну балку складаються з корисного навантаження, обумовленої за завданням і від власної маси настилу, допоміжних і головних балок. Для визначення вантажної площі на головну балку представлений рис. 4.4.

Характеристичне рівномірно-розподілене навантаження на головну балку визначають за формулою:

$$q_n = 1.03(P_n + 9.81 \cdot 10^{-3} \cdot m) \cdot l_{г.б.}; \quad (\text{кН/м}) \quad (4.14)$$

а розрахункове граничне:

$$q = 1.03(P_n \cdot \gamma_f + 9.81 \cdot 10^{-3} \cdot m \cdot \gamma_{с.в.}) \cdot l_{с.б.}; \quad (\text{кН/м}) \quad (4.15)$$

P_n – характеристичне корисне рівномірно-розподілене навантаження в кПа (за завданням); γ_f – коефіцієнт надійності по навантаженню для корисного навантаження $\gamma_f = 1,2$; $\gamma_{с.в.}$ – коефіцієнт надійності по навантаженню для постійного навантаження (власну вагу) приймайте $\gamma_{с.в.} = 1,05$; m – приведена маса настилу і допоміжних балок у кг/м^2 , визначати за формулою (4.10) для прийнятого до розробки варіанта; 1,03 – коефіцієнт, що враховує власну масу головної балки (3%); $l_{с.б.}$ проліт допоміжної балки в м.

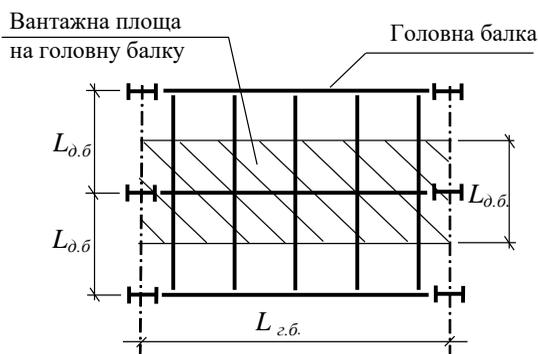


Рис. 4.4. Визначення навантаження на головну балку

Для обраного варіанта виконуємо розрахунки:

$$q_n = 1,03 \cdot (24,5 + 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot 113,65) \cdot 4 = 105,53 \text{ кН/м};$$

$$q = 1,03 \cdot (24,5 \cdot 1,2 + 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot 113,65 \cdot 1,05) \cdot 4 = 125,95 \text{ кН/м}.$$

Визначення розмірів перерізу головної балки

Для визначення висоти головної балки необхідно попередньо обчислити розрахунковий згинальний момент і необхідний момент опору по формулах:

$$M = \frac{q \cdot L_{с.б.}^2}{8}; \quad (\text{кН} \cdot \text{м}) \quad (4.16)$$

$$W_{TP} = \frac{M}{\gamma_c \cdot R_y}; \quad (\text{см}^3) \quad (4.17)$$

q – розрахункове граничне рівномірно-розподілене навантаження визначається по (4.2); $l_{\text{г.б.}}$ – проліт головної балки в м (за завданням).

R_y – розрахунковий опір сталі по границі текучості в МПа приймати по табл. 51*, [2]. Марку сталі для головної балки приймати за завданням. Оптимальну висоту головної балки, що забезпечує мінімальна витрата сталі, варто визначати за формулою:

$$h_{\text{опт}} = k \sqrt{\frac{W_{TP}}{t_w}}; \quad (\text{см}) \quad (4.18)$$

k – коефіцієнт, що залежить від співвідношення конструктивних коефіцієнтів поясів стінки балки, застосовувати рівним: $k = 1,10 \div 1,15$.

Для балок висотою до 2 м товщина стінки може визначатися по емпіричній формулі:

$$t_w = 7 + 3 \cdot h; \quad (\text{мм}) \quad (4.19)$$

де t_w – товщина стінки в мм, h – висота балки в м, попередньо приймати рівної $h = 1/8 - 1/12$ прольоту балки.

Мінімальну висоту балки, що забезпечує жорсткість балки, визначають за формулою:

$$h_{\text{min}} = \frac{5}{24} \cdot \frac{R_y \cdot l}{E} \cdot \frac{1}{[f/l]} \cdot \frac{q_n}{q}; \quad (\text{см}) \quad (4.20)$$

$\left[\frac{f}{l} \right]$ – допустимий відносний прогин головної балки, $\left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{400}$.

Висоту балки студент повинен прийняти за наступними умовами:

$$h > h_{\text{min}}; \quad h \approx h_{\text{opt}}; \quad (4.21)$$

Підставимо у вище приведені формули числові значення:

$$M = \frac{125,95 \cdot 13^2}{8} = 2661 \text{ (кН} \cdot \text{м)};$$

$$W_{TP} = \frac{2661 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 240} = 0,01108632 \text{ м}^3 = 11086,32 \text{ см}^3;$$

$$t_w = 7 + 3 \cdot 1,3 = 10,9 = 12 \text{ мм};$$

$$h_{\text{опт}} = 1,15 \sqrt{\frac{11086,32}{1,2}} = 110,5 \text{ см};$$

$$h_{\text{мин}} = \frac{5}{24} \cdot \frac{240 \cdot 13 \cdot 400}{2,06 \cdot 10^5} \cdot \frac{105,53}{125,95} = 1,0575 \text{ м} = 105,75 \text{ см}.$$

Попередньо приймаємо висоту балки $h = 1,3 \text{ м}$.

Визначення товщини стінки балки

Товщина стінки балки визначається з умови міцності на зріз в опорному перерізі

$$t_w^{\text{мин}} = \frac{1,5 \cdot Q}{h_w \cdot R_s \cdot \gamma_c}; \quad (\text{см}) \quad (4.22)$$

$$Q = \frac{ql}{2}; \quad (\text{кН}) \quad (4.23)$$

Q - поперечна сила в опорному перерізі (опорна реакція), h_w – висота стінки попередньо приймається на 4 – 6 см менше висоти балки з урахуванням сортаменту прокатної товстолистової сталі, приймати за ГОСТ 19903-74*, [6].

R_s – розрахунковий опір сталі зрізу

$$R_s = 0,58 \cdot R_y; \quad (\text{МПа}) \quad (4.24)$$

з умови забезпечення стійкості стінки балки товщина визначається за формулою:

$$t_w \geq \frac{h_w}{6} \sqrt{\frac{R_y}{E}}; \quad (4.25)$$

з умови корозійної стійкості:

$$t_w \geq 0,8 \text{ см}; \quad (4.26)$$

Якщо умови (4.19), (4.22), (4.25) і (4.26) не виконуються, необхідно відкоригувати величину t_w і h_w .

Виконуємо розрахунки:

$$Q = \frac{125,95 \cdot 13}{2} = 818,68 \text{ кН};$$

$$t_w^{\text{мин}} = \frac{1,5 \cdot 818,68}{1,24 \cdot 139,2 \cdot 10^3} = 0,0071 \text{ мм} = 0,71 \text{ см} < 1,2 \text{ см};$$

$$R_s = 0,58 \cdot 240 = 139,2 \text{ МПа} = 139,2 \cdot 10^3 \text{ кПа}.$$

Приймаємо висоту стінки балки $h_w = 124$ см з листа 1250×12 мм, за ГОСТ 19903-74*, [6]. В даному випадку висота стінки прийнята з урахуванням стругання торців листа на 5 мм, для забезпечення однакового зазору та більш якісного виконання зварних швів, що з'єднують стінку з поясами. Хоча можна приймати і повну висоту листа. З умови забезпечення стійкості стінки балки:

$$t_w \geq \frac{124}{6} \cdot \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 0,85 \text{ см}; \text{ з умови корозійної стійкості:}$$

$$1,2 > 0,8.$$

Остаточно приймаємо $t_w = 1,2$ см.

Визначення розмірів поясу балки

Площа поясу складеної балки симетричного перерізу

$$A_f = \frac{W_{TP}}{h} - \frac{t_w \cdot h}{6}; \quad (\text{см}^2) \quad (4.27)$$

Переріз поясу призначається з урахуванням вимог загальної і місцевої стійкості. Розміри пояса визначаються виходячи з приведених умов:

$$\frac{b_f}{h} = \left(\frac{1}{3} \div \frac{1}{5} \right), \text{ але не менш ніж } 180 \text{ мм};$$

$$\frac{b_f}{t_f} \leq \sqrt{\frac{E}{R_y}}; \quad (4.28)$$

$$t_f \leq 2,5 t_w;$$

b_f – ширина поясу; t_f – товщина поясу. Розміри b_f і t_f необхідно призначати з урахуванням сортаменту універсальної сталі за ГОСТ 19903-74*, [6].

$$h = h_w + 2 \cdot t_f; \quad (4.29)$$

Підставимо у вище приведені формули числові значення:

$$A_f = \frac{11086,3}{130} - \frac{1,2 \cdot 130}{6} = 59,28 \text{ см}^2;$$

$$b_f = \frac{1}{4} \cdot h = \frac{130}{4} = 32,5 \text{ см} = 325 \text{ мм} > 180 \text{ мм};$$

$$\frac{b_f}{t_f} = \frac{32,5}{3} = 10,83 < \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^5}{240}} = 29,3;$$

$$t_{f \max} \leq 2,5 \cdot 1,2 = 3 \text{ см.}$$

Приймаємо розміри поясу $b_f \times t_f = 340 \times 20 \text{ мм}$; $A_f = 68,0 \text{ см}^2$.

Остаточно приймаємо висоту балки $h = 124 + 2 \cdot 2 = 128 \text{ см}$.

Перевірка міцності балки по нормальних напруженнях

Для перевірки міцності балки необхідно визначити геометричні характеристики підбраного перерізу.

Момент інерції балки

$$I_x = \frac{t_w \cdot h_w^3}{12} + 2 \cdot t_f \cdot b_f \left(\frac{h_w}{2} + \frac{t_f}{2} \right)^2 ; \quad (\text{см}^4) \quad (4.30)$$

Момент опору

$$W_x = \frac{I_x}{h/2} ; \quad (\text{см}^3) \quad (4.31)$$

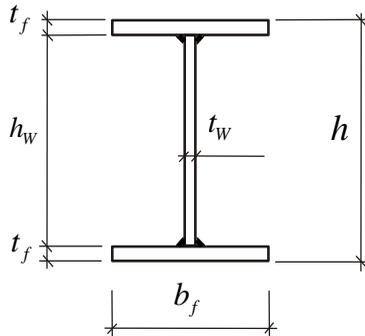


Рис. 2.5. Переріз головної балки

Визначаємо статичний момент половини перерізу

$$S = \frac{t_w \cdot h_w^2}{8} + \frac{t_f \cdot b_f \cdot (h - t_f)}{2} ; \quad (\text{см}^3) \quad (4.32)$$

Знаходимо навантаження на балку з урахуванням власної ваги погонної довжини 1м балки.

Характеристичне значення рівномірно-розподіленого навантаження на головну балку визначаються за формулою:

$$q_n = (P_n + 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot m) \cdot l_{6,6} + 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot m_6 ; \quad (\text{кН/м}) \quad (4.33)$$

$$q = (\gamma_f \cdot P_n + \gamma_{f.c.y.} \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot m) \cdot l_{6,6} + \gamma_{f.c.y.} \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot m_6 ; \quad (\text{кН/м}) \quad (4.34)$$

$$m_{\delta} = (t_w \cdot h_w + 2 \cdot t_f \cdot b_f) \cdot 7850; \quad (\text{кг/м}) \quad (4.35)$$

m_{δ} – власна вага погонної довжини 1 м балки, інші позначення брати з формул (4.14) і (4.15).

Максимальний згинальний момент визначається:

$$M = q \cdot l^2 / 8; \quad (\text{кН} \cdot \text{м}) \quad (4.36)$$

Максимальна поперечна сила:

$$Q = q \cdot l / 2; \quad (\text{кН}) \quad (4.37)$$

q – визначається за формулою (4.34).

Перевіряємо міцність балки по нормальних напруженнях:

$$\sigma = \frac{M}{W_x} \leq R_y \cdot \gamma_c; \quad (\text{МПа}) \quad (4.38)$$

M - розрахунковий згинальний момент за формулою (4.36);

W_x - момент опору за формулою (4.31); γ_c - коефіцієнт умов роботи, приймати $\gamma_c = 1$.

Виконаємо розрахунок по вище наведених формулах:

$$I_x = \frac{1,2 \cdot 124^3}{12} + 2 \cdot 2 \cdot 34 \cdot \left(\frac{124}{2} + \frac{2}{2} \right)^2 = 730446,4 \text{ см}^4;$$

$$W_x = \frac{730446,4}{128 / 2} = 11413,23 \text{ см}^3;$$

$$S = \frac{1,2 \cdot 124^2}{8} + \frac{2 \cdot 34 \cdot (128 - 2)}{2} = 6590,4 \text{ см}^3;$$

$$m_{\delta} = (0,012 \cdot 1,24 + 2 \cdot 0,02 \cdot 0,34) \cdot 7850 = 223,57 \text{ кг/м};$$

$$q_n = (24,5 + 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot 113,65) \cdot 4 + 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot 223,57 = 104,65 \text{ кН/м};$$

$$q = (1,2 \cdot 24,5 + 1,05 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot 113,65) \cdot 4 + 1,05 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot 223,57 = 124,59 \text{ кН/м};$$

$$M = \frac{124,59 \cdot 13^2}{8} = 2631,9 \text{ кНм};$$

$$Q = \frac{124,59 \cdot 13}{2} = 809,84 \text{ кН};$$

$$\sigma = \frac{2631,9 \cdot 10^{-3}}{11413,23 \cdot 10^{-6}} = 230,60 < 240 \text{ МПа.}$$

Умова виконується.

Перевірка міцності балки по дотичних напруженнях

Перевірку за максимальними дотичними напруженнями виконують за формулою:

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{I_x \cdot t_w} \leq \gamma_c \cdot R_s ; \quad (\text{МПа}) \quad (4.39)$$

У випадку, якщо балка спирається через опорне ребро, перевірка за максимальними дотичними напруженнями виконується за формулою:

$$\tau = \frac{1,5 \cdot Q}{h_w \cdot t_w} \leq \gamma_c \cdot R_s ; \quad (\text{МПа}) \quad (4.40)$$

Виконаємо розрахунок по наведених формулах:

$$\tau = \frac{809,84 \cdot 10^{-3} \cdot 6590,4 \cdot 10^{-6}}{730446,4 \cdot 10^{-8} \cdot 1,2 \cdot 10^{-2}} = 60,89 < 139,2 \text{ МПа};$$

$$\tau = \frac{1,5 \cdot 809,84 \cdot 10^{-3}}{1,24 \cdot 0,012} = 81,63 < 139,2 \text{ МПа}.$$

Перевірка жорсткості балки

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{384} \frac{q_n \cdot l^3}{EI_x} \leq \left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{400} ; \quad (4.41)$$

q_n – характеристичне значення рівномірно-розподіленого навантаження визначають за формулою (4.33);

l – довжина головної балки в м за завданням;

I_x – момент інерції балки визначати по (4.17);

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{384} \cdot \frac{104,65 \cdot 13^3}{2,06 \cdot 10^8 \cdot 730446,4 \cdot 10^{-8}} = \frac{1}{503} < \frac{1}{400}.$$

Перевірка виконується.

Визначення розмірів змінного перерізу поясу

Для розрізних балок, що працюють у пружній стадії, з метою економії сталі варто змінити переріз балки за рахунок зменшення

площі поясів у симетричних перерізах балки на відстані $x = \frac{1}{6} \cdot l_{2,б}$.

від кожної опори. (рис. 4.6).

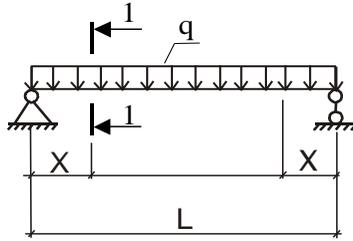


Рис. 4.6. Розрахункова схема головної балки (переріз 1–1 є місцем зміненого перерізу балки)

Підбір зміни перерізу балки необхідно робити в такій послідовності:

– визначити згинальний момент у перерізі 1-1:

$$M_1 = q \cdot x \cdot (l - x) / 2; \quad (\text{кН}\cdot\text{м}) \quad (4.42)$$

– визначити необхідний момент опору в новому перерізі:

$$W_{1,TP} = \frac{M_1}{R_{wy} \cdot \gamma_c}; \quad (\text{см}^3) \quad (4.43)$$

R_{wy} – розрахунковий опір звареного стикового шва, $R_{wy} = 0.85 \cdot R_y$;

R_y – розрахунковий опір сталі по границі текучості.

Визначити площу поясу зміненого перерізу:

$$A_{1,TP} = \frac{W_{1,TP}}{h_w} - \frac{t_w \cdot h_w}{6}; \quad (\text{см}^2) \quad (4.44)$$

Визначити ширину поясу в зміненому перерізі, залишаючи колишню його товщину:

$$b_{1f} = \frac{A_{1,TP}}{t_f}; \quad (\text{см}) \quad (4.45)$$

При цьому повинна виконуватися умова: $b_{1f} \geq 180$ мм;

$$b_{1f} \geq \frac{1}{2} \cdot b_f; \quad (4.46)$$

$$b_{1f} \geq \frac{1}{10} \cdot h.$$

Розміри призначати згідно сортаменту універсальної широкоштабової сталі за ГОСТ 19903-74*, [6].

Виконаємо обчислення:

$$x = \frac{1}{6} \cdot 13 = 2,167 \approx 2,4 \text{ м};$$

$$M_1 = \frac{124,59 \cdot 2,4 \cdot (13 - 2,4)}{2} = 1583,77 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$W_{TP} = \frac{1583,77 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 240 \cdot 1} = 7763,56 \text{ см}^3;$$

$$A_{1fTP} = \frac{7763,56}{124} - \frac{1,2 \cdot 124}{6} = 37,81 \text{ см}^2;$$

$$b_{1f} = \frac{37,81}{2} = 18,9 \text{ см} = 189 \text{ мм};$$

$$b_{1f} = 189 > 180 \text{ мм};$$

$$b_{1f} = 189 > 340/2 = 170 \text{ мм};$$

$$b_{1f} = 189 > 128 \text{ мм}.$$

Всі умови виконуються, приймаємо $b_{1f} = 20 \text{ см}$;

$$A_{1fTP} = b_{1f} \cdot t_{1f} = 20 \cdot 2 = 40,0 \text{ см}^2.$$

Перевірка міцності балки в змінному перерізі

Попередньо необхідно обчислити геометричні характеристики змінного перерізу.

Момент інерції визначити за формулою:

$$I_{1x} = \frac{t_w \cdot h_w^3}{12} + 2 \cdot b_{1f} \cdot t_f \cdot \left(\frac{h_w}{2} + \frac{t_f}{2} \right)^2; \quad (\text{см}^4) \quad (4.47)$$

Момент опору визначити за формулою:

$$W_1 = \frac{2 \cdot I_{1x}}{h_w}; \quad (\text{см}^3) \quad (4.48)$$

Статичний момент половини перерізу:

$$S_1 = \frac{t_w \cdot h_w^2}{8} + \frac{t_f \cdot b_{1f} \cdot (h - t_f)}{2}; \quad (\text{см}^3) \quad (4.49)$$

Максимальну поперечну силу в місці змінного перерізу визначити за формулою:

$$Q_1 = q \cdot \left(\frac{l}{2} - x \right); \quad (\text{кН}) \quad (4.50)$$

Перевірку за нормальними напруженнями у місці змінного перерізу роботи за формулою:

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{W_1} \leq \gamma_c \cdot R_{wy}; \quad (\text{МПа}) \quad (4.51)$$

Перевірку за дотичними напруженнями:

$$\tau_1 = \frac{Q_1 \cdot S_1}{I_{1x} \cdot t_w} \leq \gamma_c \cdot R_s; \quad (\text{МПа}) \quad (4.52)$$

Приведені напруження на границі стінки в місці зміни перерізу при $\sigma_{loc} = 0$ (примикання допоміжних балок до головної в одному рівні) перевірити за формулою:

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} \leq 1,15R_y \cdot \gamma_c; \quad (\text{МПа}) \quad (4.53)$$

При варіанті поверхового обпирання допоміжних балок на головну балку умову перевірити за формулою:

$$\sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_{loc} + \sigma_{loc}^2 + 3\tau_1^2} \leq 1,15R_y \cdot \gamma_c; \quad (\text{МПа}) \quad (4.54)$$

$$\sigma_{loc} = \frac{\gamma_f \cdot F}{t_w \cdot l_{ef}}; \quad (\text{МПа}) \quad (4.55)$$

σ_{loc} – напруження в стінці від місцевого тиску (місцеві напруження);

γ_f - коефіцієнт, прийнятий для балок $\gamma_f = 1,1$;

F – розрахункове зосереджене навантаження від допоміжної балки:

$$F = 2 \frac{q \cdot l_{д.б.}}{2}; \quad (\text{кН}) \quad (4.56)$$

q – розрахункове граничне навантаження на допоміжну балку, приймати з уточненим g_n за формулою (4.3); $l_{д.б.}$ – проліт допоміжної балки в м;

l_{ef} – умовна довжина розподілу місцевого тиску:

$$l_{ef} = b + 2 \cdot t_f; \quad (\text{см}) \quad (4.57)$$

b – ширина полиці прокатного двотавра допоміжної балки в см;

t_f – товщина полиці головної балки в см.

Підставимо у вищенаведені формули числові значення:

$$I_{ix} = \frac{1,2 \cdot 124^3}{12} + 2 \cdot 20 \cdot 2 \left(\frac{124}{2} + \frac{2}{2} \right)^2 = 508182,4 \text{ см}^4;$$

$$W_1 = \frac{2 \cdot 508182,4}{124} = 8196,50 \text{ см}^3;$$

$$S_1 = \frac{1,2 \cdot 124^2}{8} + \frac{2 \cdot 20(128 - 2)}{2} = 4826,4 \text{ см}^3;$$

$$Q = 124,59 \cdot \left(\frac{13}{2} - 2,4 \right) = 510,49 \text{ кН};$$

$$\sigma_1 = \frac{1583,77 \cdot 10^{-3}}{8196,5 \cdot 10^{-6}} = 193,23 < 204 \text{ МПа};$$

$$\tau_1 = \frac{510,49 \cdot 10^{-3} \cdot 4826,4 \cdot 10^{-6}}{508182,4 \cdot 10^{-8} \cdot 1,2 \cdot 10^{-2}} = 40,4 < 139,2 \text{ МПа};$$

$$F = 2 \cdot \frac{30,57 \cdot 4}{2} = 122,28 \text{ кН};$$

$$l_{ef} = 11,5 + 2 \cdot 2 = 15,5 \text{ см};$$

$$\sigma_{loc} = \frac{1,1 \cdot 122,28 \cdot 10^{-3}}{0,012 \cdot 0,155} = 72,32 \text{ МПа};$$

$$\sqrt{193,23^2 - 193,23 \cdot 72,32 + 72,32^2 + 3 \cdot 40,4^2} = 183,0 < 1,15 \cdot 240 \cdot 1 = 276 \text{ МПа}.$$

Міцність балки в місці зміни перерізу забезпечена.

Перевірка загальної стійкості головної балки

Перевірка загальної стійкості головної балки не потрібна, якщо по її верхньому поясу приварений сталевий профільований настил, якщо відношення l_n/b_{lf} не перевищує значень, зазначених у табл. 1.12, [14].

$$\frac{l_n}{b_{lf}} \leq \left[0,35 + 0,0032 \cdot \frac{b}{t} + \left(0,76 - 0,02 \frac{b}{t} \right) \cdot \frac{b}{H} \right] \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}};$$

l_n – проліт настилу; b_{lf} – ширина полиці зміненого перерізу;

H – відстань (висота) між осями поясних листів.

Виконаємо обчислення:

$$\frac{100}{20} = 5 < \left[0,35 + 0,0032 \cdot \frac{20}{2} + \left(0,76 - 0,02 \cdot \frac{20}{2} \right) \cdot \frac{20}{126} \right] \cdot \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^5}{240}} = 13,8 \cdot$$

$5,0 < 13,8$ Умова виконується.

Перевірка місцевої стійкості стінки головної балки

Стійкість стінки балки перевіряти не слід, якщо умовна гнучкість $\overline{\lambda}_w$ не перевищує:

3,5 – при відсутності місцевого напруження в балках із двосторонніми поясними швами;

3,2 – те ж у балках з однібічними поясними швами;

2,5 – при наявності місцевого напруження в балках із двосторонніми поясними швами;

Умови гнучкості визначаються за формулою:

$$\overline{\lambda}_w = \frac{h_{ef}}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}; \quad (4.58)$$

h_{ef} – розрахункова висота стінки балки приймається рівній повній висоті стінки $h_{ef} = h_w$; t_w – товщина стінки балки.

Стінку балки варто зміцнювати поперечними ребрами жорсткості, якщо значення умовної гнучкості $\overline{\lambda}_w > 3,2$.

Відстань між основними поперечними ребрами не повинна перевищувати $a < 2 h_{ef}$.

Підставимо у вище наведену формулу числові значення:

$$\overline{\lambda}_w = \frac{124}{1,2} \cdot \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 3,53 > 2,5.$$

Поверхове сполучення балок, при $\sigma_{loc} \neq 0$ і $\overline{\lambda}_w = 3,53 > 2,5$ необхідна перевірка місцевої стійкості стінки.

Визначення нормальних і дотичних напружень

Перевірку стійкості стінки необхідно зробити в двох місцях:

– у крайньому відсіку;

– у середньому відсіку.

Розрахунок стійкості стінки балки необхідно визначати з урахуванням усіх компонентів напруження σ , τ , σ_{loc} .

Стискаючі напруження σ на границі відсіку варто визначати за формулою:

$$\sigma = \frac{M \cdot h_{ef}}{W \cdot h}; \quad (\text{МПа}) \quad (4.59)$$

Середнє дотичне напруження τ :

$$\tau = \frac{Q}{t_w \cdot h_{ef}}; \quad (\text{МПа}) \quad (4.60)$$

У формулах (4.59) і (4.60) M і Q – середнє значення відповідного моменту і поперечної сили в межах відсіку. Якщо довжина відсіку більше його розрахункової висоти – то M і Q варто обчислювати для більш напруженої ділянки з довжиною, рівній висоті відсіку, якщо в межах відсіку M і Q змінює знак, то їхнє середнє значення варто обчислювати на ділянці відсіку з одним знаком.

Виконаємо обчислення для наведеного приклада розрахунку.

Якщо напруження в стінці $\sigma_{loc} < R_y \cdot \gamma_c$, то поперечні ребра жорсткості в місцях обпирання балок настилу можна не ставити. Приймаємо відстань між ребрами жорсткості в крайніх відсіках $a = 150 \text{ см} < 2 h_{ef} = 2 \cdot 124 = 248 \text{ см}$, а в середніх відсіках $a = 200 \text{ см}$, (рис. 4.7).

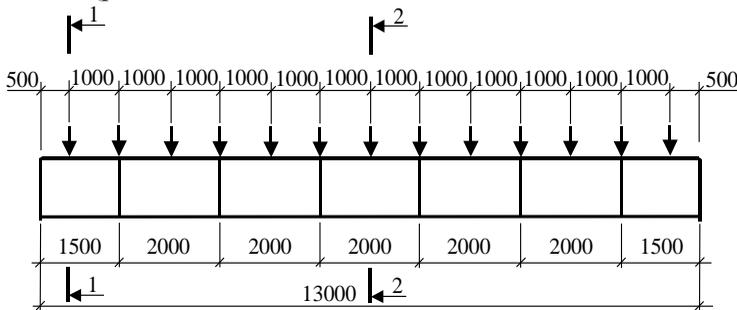


Рис. 4.7 Схема балки, укріпленої поперечними ребрами жорсткості

Оскільки $a > h_{ef} = 124 \text{ см}$, то в межах крайнього відсіку виділяємо ділянку шириною $h_{ef} = 124 \text{ см}$ і на його ділянці більш небезпечним для стінки є переріз, де прикладене зосереджене навантаження на відстані $x_1 = 50 \text{ см}$ від опори. Обчислюємо M і Q у крайньому відсіку, переріз 1 – 1:

$$M_{x=0,5} = \frac{q \cdot x \cdot (l-x)}{2} = \frac{124,59 \cdot 0,5 \cdot (13-0,5)}{2} = 389,1 \text{ (кН} \cdot \text{м)};$$

$$M_{x=1,24} = \frac{124,59 \cdot 1,24 \cdot (13-1,24)}{2} = 881,5 \text{ (кН} \cdot \text{м)};$$

$$M = \frac{M_{X=0,5} + M_{X=1,24}}{2} = \frac{389,1 + 881,5}{2} = 635,3 \text{ (кН} \cdot \text{м)}$$

Для поперечної сили границями ділянками буде $X = 0$; $X = 1,24$ м.

$$Q_{X=0} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{124,59 \cdot 13}{2} = 809,84 \text{ (кН)};$$

$$Q_{X=1,24} = q \cdot \left(\frac{l}{2} - x \right) = 124,59 \cdot (6,5 - 1,24) = 654,92 \text{ (кН)};$$

$$Q = \frac{Q_{X=0} + Q_{X=1,24}}{2} = \frac{809,84 + 654,92}{2} = 732,12 \text{ (кН)}$$

$$\sigma_{1-1} = \frac{635,32 \cdot 10^{-3} \cdot 1,24}{8196,5 \cdot 10^{-6} \cdot 1,28} = 75,1 \text{ (МПа)};$$

$$\tau_{1-1} = \frac{732,12 \cdot 10^{-3}}{0,012 \cdot 1,24} = 49,2 \text{ (МПа)}.$$

Обчислюємо M і Q у середньому відсіку, переріз 2 – 2:

$$M_{X=6,5} = \frac{q \cdot x \cdot (l - x)}{2} = \frac{124,59 \cdot 6,5 \cdot (13 - 6,5)}{2} = 2631,9 \text{ (кН} \cdot \text{м)};$$

$$Q_{X=6,5} = q \cdot \left(\frac{l}{2} - x \right) = 124,59 \cdot (6,5 - 6,5) = 0;$$

$$\sigma_{2-2} = \frac{2631,9 \cdot 10^{-3} \cdot 1,24}{11147,6 \cdot 10^{-6} \cdot 1,28} = 228,72 \text{ (МПа)};$$

$$\tau_{2-2} = 0.$$

Розрахунок на стійкість стінки балки, укріпленої тільки поперечними основними ребрами жорсткості при $\sigma_{loc} = 0$

Розрахунок на стійкість стінки балки, укріпленої тільки поперечними основними ребрами жорсткості при відсутності місцевих напружень $\sigma_{loc} = 0$. Якщо ця умова дотримується, то виконується перевірка за формулою:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}} \right)^2} \leq \gamma_c; \quad (4.61)$$

σ , і τ , - нормальні і дотичні напруження, визначати відповідно по формулах (4.59) і (4.60); σ_{cr} - критичні нормальні напруження визначати за формулою:

$$\sigma_{cr} = \frac{c_{cr} \cdot R_y}{\overline{\lambda}_w^2}; \quad (\text{МПа}) \quad (4.62)$$

$\overline{\lambda}_w$ - умовна гнучкість стінки визначається за формулою (4.58); c_{cr} – коефіцієнт защемлення стінки, що для зварних балок приймається по табл. 21 СНиП II – 23 – 81*, [2] в залежності від δ , що у свою чергу визначається за формулою:

$$\delta = \beta \cdot \frac{b_f}{h_{ef}} \cdot \left(\frac{t_f}{t_w} \right)^3; \quad (4.63)$$

$\beta = 0,8$; b_f і t_f – ширина і товщина полки розглянутого перерізу.

Критичні дотичні напруження τ_{cr} визначають за формулою:

$$\tau_{cr} = 10,3 \cdot \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \cdot \frac{R_s}{\lambda_{ef}^2}; \quad (\text{МПа}) \quad (4.64)$$

R_s – розрахунковий опір сталі зрізу:

$$R_s = 0,58 \cdot R_y;$$

λ_{ef} - умовна гнучкість пластинки визначається за формулою:

$$\lambda_{ef} = \frac{d}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}; \quad (4.65)$$

d – менша зі сторін пластинки (h_{ef} чи a , де a - відстань між поперечними ребрами жорсткості); μ – відношення більшої сторони пластинки до меншої.

У наведеному прикладі розрахунку місцеві напруження не дорівнюють нулю, тому варто переходити до розрахунку наступного пункту.

Розрахунок на стійкість стінки балки, укріпленої тільки поперечними основними ребрами жорсткості при $\sigma_{loc} \neq 0$

Розрахунок на стійкість стінки балки, укріпленої тільки поперечними основними ребрами жорсткості, при наявності місцевого напруження ($\sigma_{loc} \neq 0$) варто виконувати за формулою:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loccr}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}} \right)^2} \leq \gamma_c; \quad (4.66)$$

σ , τ , σ_{loc} - відповідно нормальні дотичні і місцеві напруження, визначати по формулах (4.59) і (4.60), (4.55); τ_{cr} - критичні дотичні напруження варто визначати за формулою (4.64);

σ_{cr} і $\sigma_{loc.cr}$ – відповідно критичні нормальні і критичні місцеві напруження, визначати в залежності від відношення $\frac{a}{h_{ef}}$ і $\frac{\sigma_{loc}}{\sigma}$:

а) при відношенні $\frac{a}{h_{ef}} \leq 0,8$ напруження σ_{cr} визначається за формулою (4.62), а $\sigma_{loc.cr}$ за формулою:

$$\sigma_{loc.cr} = \frac{c_1 \cdot R_y}{\lambda_a^2}; \quad (\text{МПа}) \quad (4.67)$$

c_1 – коефіцієнт, прийнятий для зварних балок по табл. 23, [2] в залежності від відношення a / h_{ef} і δ , обчисленого за формулою (4.63);

$\overline{\lambda}_a$ – умовна гнучкість визначається за формулою:

$$\lambda_a = \frac{a}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}}; \quad (4.68)$$

a – відстань між основними поперечними ребрами жорсткості;
 t_w – товщина стінки балки;

б) при відношенні $\frac{a}{h_{ef}} > 0,8$ і відношенні $\frac{\sigma_{loc}}{\sigma}$ більше значень зазначених у табл. 24, [2], напруження σ_{cr} визначається:

$$\sigma_{cr} = \frac{c_2 \cdot R_y}{\lambda_w^2}; \quad (\text{МПа}) \quad (4.69)$$

а $\sigma_{loc.cr}$ за формулою (4.54), у якій при $a / h_{ef} \geq 2$ варто приймати $a = 2 \cdot h_{ef}$; c_2 – коефіцієнт прийнятий по табл. 25, [2]; $\overline{\lambda}_w$ - умовна гнучкість стінки визначається за формулою (4.58).

в) при відношенні $\frac{a}{h_{ef}} > 0,8$ і відношенні $\frac{\sigma_{loc}}{\sigma}$ не більше значень, зазначених у табл. 24, [2], напруження σ_{cr} визначаються за формулою (4.62), $\sigma_{loc,cr}$ за формулою (4.67), але з підстановкою $\frac{a}{2}$ замість a , як за формулою (4.67), так і в табл. 23, [2].

У випадку, якщо умова (4.61) чи (4.66) не виконується, необхідно виконати одне з наступних заходів:

- зменшити відстань між основними поперечними ребрами;
- поставити поздовжнє ребро;
- збільшити товщину стінки.

Після цього необхідно повторити перевірку стійкості стінки балки.

Приклад виконання перевірки місцевої стійкості стінки головної балки відповідно до вище наведених вимог.

Перевіряємо стійкість стінки в першому (крайньому) відсіку.

Визначаємо критичні нормальні напруження:

$$\delta = \beta \cdot \frac{b_{f1}}{h_{ef}} \cdot \left(\frac{t_f}{t_w} \right)^3 = 0,8 \cdot \frac{20}{124} \cdot \left(\frac{2,0}{1,2} \right)^3 = 0,597;$$

$$\mu = \frac{a}{h_{ef}} = \frac{1,5}{1,24} = 1,21 > 0,8;$$

$$\frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{1-1}} = \frac{72,32}{75,1} = 0,963 > 0,267;$$

$$\sigma_{cr} = \frac{c_2 \cdot R_y}{\lambda_w^2} = \frac{45,68 \cdot 240}{3,53^2} = 879,81 \text{ (МПа)};$$

де $c_2 = 45,68$ при $\frac{a}{h_{ef}} = 1,21$.

Визначаємо критичні місцеві напруження:

$$\sigma_{loc,cr} = \frac{c_1 \cdot R_y}{\lambda_a^2} = \frac{22,1 \cdot 240}{4,27^2} = 238,25 \text{ (МПа)};$$

$$\lambda_a = \frac{a}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{150}{1,2} \cdot \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 4,27.$$

Визначаємо критичні дотичні напруження:

$$R_s = 0,58 \cdot R_y = 0,58 \cdot 240 = 139,2 \text{ МПа};$$

$$\overline{\lambda}_{ef} = \frac{d}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{124}{1,2} \cdot \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 3,53;$$

$$\tau_{cr} = 10,3 \cdot \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2}\right) \cdot \frac{R_s}{\lambda_{ef}^2} = 10,3 \cdot \left(1 + \frac{0,76}{1,21^2}\right) \cdot \frac{139,2}{3,53^2} = 174,8 \text{ (МПа)};$$

$$\sqrt{\left(\frac{75,1}{879,81} + \frac{72,32}{238,25}\right)^2 + \left(\frac{49,2}{174,8}\right)^2} = 0,5 < \gamma_c = 1.$$

Стійкість стінки в першому (крайньому) відсіку забезпечена.

Перевіряємо стійкість стінки в середньому відсіку:

Визначаємо коефіцієнти:

$$\delta = \beta \cdot \frac{b_f}{h_{ef}} \cdot \left(\frac{t_f}{t_w}\right)^3 = 0,8 \cdot \frac{34}{124} \cdot \left(\frac{2,0}{1,2}\right)^3 = 1,02.$$

$$\text{При } \mu = \frac{a}{h_{ef}} = \frac{2,0}{1,24} = 1,61 > 0,8 \text{ і } \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{2-2}} = \frac{72,32}{228,72} = 0,316 < 0,451; c_{cr} = 31,7;$$

$$\sigma_{cr} = \frac{c_{cr} \cdot R_y}{\lambda_w^2} = \frac{31,7 \cdot 240}{3,53^2} = 610,55 \text{ (МПа)};$$

$$\sigma_{loc.cr} = \frac{c_1 \cdot R_y}{\lambda_a^2} = \frac{14,9 \cdot 240}{2,84^2} = 441,99 \approx 442 \text{ (МПа)};$$

де $c_1 = 14,90$; при $a / 2 \cdot h_{ef} = 200 / 2 \cdot 124 = 0,8$; $\delta = 1,02$;

$$\lambda_a = \frac{a}{2 \cdot t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{200}{2 \cdot 1,2} \cdot \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 2,84;$$

$$\sqrt{\left(\frac{228,72}{610,55} + \frac{72,32}{442}\right)^2} + 0 = 0,54 < \gamma_c = 1.$$

Місцева стійкість середнього відсіку забезпечена.

Перевірка стійкості поясних листів головної балки

Перевірка стійкості поясних листів головної балки варто робити за формулою:

$$\frac{b_{ef}}{t_f} \leq 0.5 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}}; \quad (4.70)$$

b_{ef} – розрахункова ширина звису поясних листів;

t_f – товщина поясного листа.

Виконуємо розрахунки:

$$b_{ef} = \frac{b_f - t_w}{2} = \frac{34 - 1,2}{2} = 16,4 \text{ см};$$

$$\frac{16,4}{2} = 8,2 < 0.5 \cdot \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^5}{240}} = 14,65;$$

$$8,2 < 14,65.$$

Умова виконується, стійкість поясного листа забезпечена.

Розрахунок поясних швів зварних балок

Поясні шви зварних балок, а також шви, що приєднують ребра жорсткості повинні виконуватися безупинно. Катет поясного шва приймати рівним більшої з величин, отриманих по формулах:

$$K_f \geq \frac{Q_{\max} \cdot S'_f}{2\beta_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c \cdot I'_x}; \quad (\text{см}) \quad (4.71)$$

$$K_f \geq \frac{Q_{\max} \cdot S'_f}{2\beta_z \cdot R_{wz} \cdot \gamma_{wz} \cdot \gamma_c \cdot I'_x}; \quad (\text{см}) \quad (4.72)$$

Величину катета поясного шва приймати не менше зазначеної в табл. 38*, [2].

Q_{\max} – максимальна поперечна сила в (кН); S'_f – статичний момент для зміненого перерізу пояса зварної складної балки обчислюють за формулою:

$$S'_f = b_{1f} \cdot t_f \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{t_f}{2} \right); \quad (\text{см}^3) \quad (4.73)$$

b_{1f} – ширина полиці зміненого перерізу; t_f – товщина полиці;

h – висота балки; I_{Ix} – момент інерції зміненого перерізу в см^4 ; див. (4.47).

Значення $\beta_f, \beta_z, R_{wz}, R_{wf}, \gamma_{wz}, \gamma_{wf}, \gamma_c$ – брати з формул (4.11) і (4.12).

Виконаємо обчислення:

$$S'_f = 20 \cdot 2 \cdot \left(\frac{128}{2} - \frac{2}{2} \right) = 2520 \text{ см}^3 = 0,002520 \text{ м}^3.$$

$$R_{wf} = 180 \text{ МПа},$$

$$R_{wz} = 166 \text{ МПа}.$$

$$K_f \geq \frac{809,84 \cdot 10^{-3} \cdot 0,002520}{2 \cdot 0,7 \cdot 180 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 508182,4 \cdot 10^{-8}} = 0,0016 \text{ м} = 1,6 \text{ мм};$$

$$K_f \geq \frac{809,84 \cdot 10^{-3} \cdot 0,002520}{2 \cdot 1 \cdot 166 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 508182,4 \cdot 10^{-8}} = 0,0012 \text{ м} = 1,2 \text{ мм}.$$

По табл. 38* СНиП II – 23 – 81*, [2], приймаю катет звареного шва $K_f = 6 \text{ мм}$.

Опорне ребро й опорна стійка балки

Ділянка стінки балки над опорою повинна зміцнюватися опорним ребром. Нижній торець опорного ребра повинний бути остроганий при передачі опорної реакції безпосередньо через ребро (рис. 4.8 а) або щільно пригнаний чи приварений до нижнього поясу, якщо ребро трохи вилучене від торця балки (рис. 4.8 б).

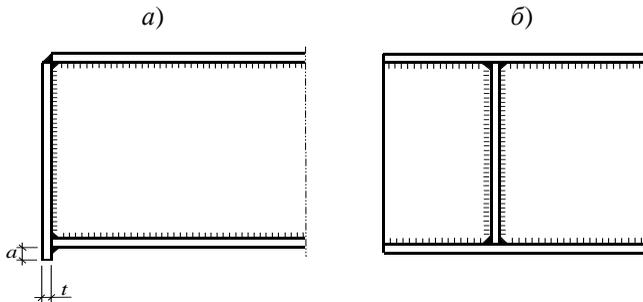


Рис. 4.8. Опорне ребро балки (а), опорна стійка балки (б)

Площа опорного ребра визначається з умови зминання у випадку, показаному на рис. 4.8 б і при величині $a \leq 1,5 t_f$, у випадку, показаному на рис. 4.8 а.

$$A_{on.p} = \frac{F}{R_p}; \quad (\text{см}^2) \quad (4.74)$$

з умови стиску, якщо $a > 1,5 t_f$ то:

$$A_{on.p} = \frac{F}{R_y}; \quad (\text{см}^2) \quad (4.75)$$

F – опорна реакція, приймати рівної Q_{max} ; R_p – розрахунковий опір зминанню торцевих поверхонь, приймати рівним:

$$R_p = \frac{R_{un}}{\gamma_m}; \quad (\text{МПа}) \quad (4.76)$$

R_{un} – тимчасовий опір сталі, приймати по табл. 51*, [2];

γ_m – коефіцієнт надійності по матеріалу, приймати $\gamma_m = 1,05$.

Ширина опорного ребра $b_{on.p}$ дорівнює ширині полиці балки зміненого перерізу b_{If} , необхідну товщину визначати за формулою:

$$t_{on.p}^{mp} = \frac{A_{on.p}}{b_{on.p}}; \quad (\text{см}) \quad (4.77)$$

Товщину опорного ребра приймати відповідно до сортаменту за ГОСТ 19903 – 74*, [6].

Ділянка стінки балки під опорою й опорне ребро, що утворюють опорну стійку (рис. 4.9), варто перевірити на поздовжній вигин із площини балки, як стійку, навантажену опорною реакцією за формулою:

$$\sigma = \frac{F}{\varphi \cdot A_{on.cm}} \leq R_y \cdot \gamma_c; \quad (\text{МПа}) \quad (4.78)$$

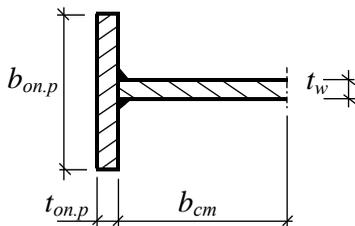


Рис. 4.9. Опорна стійка

$A_{on.cm}$ – площа опорної стійки, що складається з площі опорного ребра і частини стінки шириною $b_{cm} = 0,65 \cdot t_w^2 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}}$ в кожную сторону.

$$A_{on.cm} = b_{on.cm} \cdot t_{on.p} + b_{cm} \cdot t_w; \quad (\text{см}^2) \quad (4.79)$$

φ – коефіцієнт поздовжнього вигину центрально-стиснених елементів, приймати по табл. 72, [2], в залежності від гнучкості λ .

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i}; \quad (4.80)$$

l_{ef} – розрахункова довжина опорного ребра; i – радіус інерції.

$$i = \sqrt{\frac{I_{on.cm}}{A_{on.cm}}}; \quad (\text{см}) \quad (4.81)$$

$A_{on.cm}$ – площа опорної стійки за формулою (4.79); $I_{on.cm}$ – момент інерції опорної стійки з площини балки, дорівнює:

$$I_{on.cm} = \frac{t_{on.p} \cdot b_{on.p}^3}{12}; \quad (\text{см}^4) \quad (4.82)$$

Виконаємо обчислення:

$$A_{on.p} = \frac{809,32 \cdot 10^{-3}}{352,4 \cdot 1} = 0,002297 \text{ м}^2 = 22,97 \text{ см}^2;$$

$$R_p = \frac{370}{1,05} = 352,4 \text{ (МПа)}; \quad t_{on.p}^{mp} = \frac{22,97}{20} = 1,15 \approx 1,2 \text{ см}.$$

Приймаємо переріз опорного ребра $b_{on.p} \times t_{on.p} = 200 \times 12$ мм;

$$A_{on.p} = 24 \text{ см}^2.$$

$$A_{on.cm} = 20 \cdot 1,2 + 0,65 \cdot 1,2^2 \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^5}{240}} = 51,42 \text{ см}^2;$$

$$I_{on.cm} = \frac{1,2 \cdot 20^3}{12} = 800 \text{ (см}^4\text{)};$$

$$i = \sqrt{\frac{800}{51,42}} = 3,94 \text{ (см)};$$

$$\lambda = \frac{128}{3,94} = 31,44 ; \quad \varphi = 0,9308;$$

$$\sigma = \frac{809,32 \cdot 10^{-3}}{0,9308 \cdot 51,42 \cdot 10^{-4}} = 169,11 < 240 \text{ (МПа)}.$$

Перевірка опорної стійки на стійкість виконується. Торець ребра, що спирається на опорний столик колони, повинний бути приструганий.

Визначення розмірів основних поперечних ребер

Основні поперечні ребра варто проектувати згідно з обчисленою відстанню між ними.

Ширина виступаючої частини ребра b_h (рис. 4.10) повинна бути для парного симетричного ребра не менш ніж:

$$b_h \geq \frac{h_{ef}}{30} + 40 \text{ мм}; \quad (\text{мм}) \quad (4.83)$$

h_{ef} – висота ребра, дорівнює висоті стінки, у мм; t_s – товщина ребра обчислюється за формулою:

$$t_s \geq 2b_h \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}; \quad (\text{мм}) \quad (4.84)$$

Розміри ребра призначаємо відповідно до сортаменту.

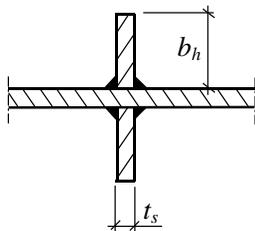


Рис. 4.10 Основні поперечні ребра

У місцях додатка великих нерухомих зосереджених навантажень варто влаштовувати поперечні ребра.

Виконуємо обчислення:

$$b_h = \frac{1240}{30} + 40 = 81 \text{ мм}; \quad \text{Приймаємо } b_h = 90 \text{ мм.}$$

$$t_s \geq 2 \cdot 90 \cdot \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 6,1 \text{ мм}.$$

Переріз ребра призначаємо 90×6 мм.

Конструювання та розрахунок монтажного стику головної балки на високоміцних болтах

Монтажні стики необхідні коли маса та розміри балки не дозволяють перевозити і змонтувати її цілком і виконуються при монтажі. Розміщення монтажних стиків повинно передбачати розподіл балки на окремі відправні елементи, що задовольняють вимогам транспортування і монтажу. Найчастіше стик проєктують посередині балки, що дає змогу скласти її з двох однакових частин. При використанні болтів кожен елемент перерізу у стику перекривають двосторонніми накладками, площа перерізу яких повинна бути не меншою за площу з'єднувальних елементів. Товщину накладок у стику стінки t_n слід приймати не меншою за 6 мм і такою, щоб їх сумарна товщина дорівнювала $\approx 1,5t_w$.

Відстані між болтами приймають мінімальні $2,5d \div 3,0d$ (відстань $3,0d$ слід брати у з'єднаннях елементів із сталі з $R_{yn} > 380 \text{ МПа}$; d - діаметр отвору для болта). Відстань від центра високоміцного болта до краю елемента не повинна бути меншою за $1,3d$. У стику стінки розміщують звичайно два, іноді три, вертикальні ряди болтів з кожної сторони від осі стику.

Відстань від крайнього горизонтального ряду болтів до грані стінки приймають не меншою за 60 мм, а відстань між горизонтальними рядами не повинна перевищувати $8d$ або $12t_n$.

Розрахунок стику кожного елемента балки виконують окремо. При розтушуванні стику в середині балки на нього діє тільки згинальний момент, який розподіляють між поясами та стінкою пропорційно їх жорсткостям.

У вищенаведеному прикладі розглянутий розрахунок головної балки в якій монтажний стик не передбачений, оскільки її довжина складає $L = 13$ м. Для інших випадків, коли довжина балок більша ніж та, що була розглянута, наводиться приклад розрахунку.

Приклад. Розрахувати монтажний стик у середній частині головної балки.

Використовуючи значення моменту інерції, згинального моменту, що отримані у п. 4.1.4, виконуємо розрахунки і розташовуємо стик на середині балки, де зусилля згинального моменту дорівнюють $M = 2631,9 \approx 2632 \text{ кНм}$, $Q=0$. Беремо болти діаметром $d_b = 20 \text{ мм}$ із сталі 40Х «селект». Діаметр отворів у накладках, поясах і стінки приймаємо $d = 22 \text{ мм}$.

Обробку поверхонь вибираємо газополум'яну, регулювання натягу болта контролюють по куту закручування гайки.

Обчислюємо розрахункове зусилля болта на одну поверхню тертя:

$$Q_{bh} = \frac{R_{bh} \cdot \gamma_b \cdot A_{bn} \cdot \mu}{\gamma_h}; \quad (\text{кН}) \quad (4.85)$$

де γ_b - коефіцієнт умови роботи з'єднання, залежить від кількості n болтів, необхідних для сприйняття розрахункового зусилля. При кількості болтів $n \geq 10$, які сприймають розрахункове зусилля - $\gamma_b = 1$; R_{bh} - розрахунковий опір на розтяг високоміцного болта визначається за формулою:

$$R_{bh} = 0,7 \cdot R_{bun}; \quad (\text{кН/см}^2) \quad (4.86)$$

де R_{bun} - найменший тимчасовий опір болта розриву, приймається за табл. 61* СНиП II - 23 - 81*, [2]; A_{bn} - площа перерізу болта нетто приймається за табл. 62*, [2]; μ - коефіцієнт тертя, який залежить від способу обробки поверхонь, що з'єднують, приймається за табл. 36*, [2]; γ_h - коефіцієнт надійності, який залежить від способу обробки поверхонь, способу регулювання натягу болта, виду навантаження і різниці діаметрів болта і отвору, приймається за табл. 36*, [2].

$$R_{bh} = 0,7 \cdot 110 = 77 \text{ кН/см}^2;$$

$$Q_{bh} = R_{bh} \cdot \gamma_b \cdot A_{bn} \cdot \mu / \gamma_h = 77 \cdot 1 \cdot 2,45 \cdot 0,42 / 1,02 = 77,68 \text{ кН}.$$

Обчислюємо моменти, які припадають на стінку та на полицки і поздовжнє зусилля в полицках.

$$M_w = M \frac{I_w}{I} = 2632 \cdot \frac{190662,4}{713446,6} = 703,4 \text{ кНм};$$

де I - момент інерції балки, що визначається за формулою (4.30) п.4.1.4, I_w - момент інерції стінки балки, див. п.4.1.4 та наведену формулу:

$$I_w = \frac{t_w \cdot h_w^3}{12}; \quad (\text{см}^4) \quad (4.87)$$

$$M_f = M - M_w = 2632 - 703,4 = 1928,6 \text{ кНм},$$

$$N_f = M_f / h_f = 1928,6 \cdot 100 / 126 = 1530,6 \text{ кН}.$$

Стик полицок. Кожну полицку перекриваємо трьома накладками. Одну встановлюють із зовнішньої поверхні поясів балки, а дві інші із внутрішньої поверхні поясів, переріз яких відповідно складає: зовнішня - 340×12 мм і дві внутрішні 150×12 мм із загальною площею перерізу: $A_n = (34 + 2 \cdot 15) \cdot 1,2 = 76,8 \text{ см}^2$.

Загальна площа перерізу трьох накладок більша ніж площа перерізу полки: $A_n > A_f \cdot 2 = 68,0 \text{ см}^2$.

Обчислюємо потрібну кількість болтів з одного боку від осі стику за формулою:

$$n_b = \frac{N_f}{k_T \cdot Q_{bh}}; \quad (\text{шт.}) \quad (4.88)$$

де k_T - кількість поверхонь тертя з'єднувальних елементів, $k_T = 2$.

$$n_b = \frac{1530,6}{2 \cdot 77,68} = 9,85 \text{ (шт.)}.$$

Приймаємо 10 болтів і розташовуємо їх в двох поздовжніх рядах (в крайньому поперечному ряду розташовано 2 болта $n_{b,kr} = 2$).

Площа перерізу нетто полицки повинна бути не менша за $0,85A_f$. Перевіряємо умову, для цього визначаємо площу перерізу нетто полицки за формулою:

$$A_{fn} = A_f - n_{b,kr} \cdot d \cdot t_f; \quad (\text{см}^2) \quad (4.89)$$

$$A_{fn} = 68 - 2 \cdot 2 \cdot 2 = 60 \text{ см}^2 > 0,85A_f = 0,85 \cdot 68 = 57,8 \text{ см}^2.$$

Умова виконується, міцність полицок і накладок забезпечена.

Стик стінки. Визначаємо потрібний коефіцієнт стику стінки при двох поверхнях тертя $k_T = 2$ і двох вертикальних рядах болтів з одного боку від осі стику $m = 2$ та при відстані між крайніми болтами $y_{\max} = h_w - 2 \cdot 8,0 = 124 - 16 = 108$ см.

$$\alpha_{nes} = \frac{M_w}{k_T \cdot m \cdot y_{\max} \cdot Q_{bh} \cdot \gamma_c} = \frac{703,4 \cdot 100}{2 \cdot 2 \cdot 108 \cdot 77,68 \cdot 1} = 2,1.$$

Кількість болтів n можна визначити підбором за умовою:

$$\frac{n \cdot (n+1)}{6 \cdot (n-1)} \geq \alpha_{nes}; \quad (4.90)$$

Підставимо значення:

$$\frac{11 \cdot (11+1)}{6 \cdot (11-1)} = 2,2 > 2,1.$$

Умова виконується, приймаємо 11 горизонтальних рядів з кроком 108 мм.

З урахуванням існуючих вимог щодо конструювання болтових з'єднань та отриманих розрахунків виконується конструювання монтажного стику головної балки (рис. 4.11).

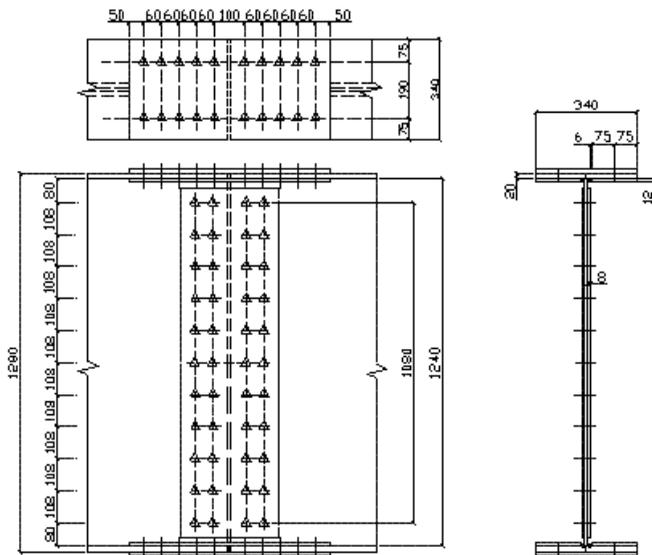


Рис. 4.11 Конструювання монтажного стику

Визначення маси головної балки

Маса головної балки – $m_{г.б.}$ складається з:

- маси стінки, верхнього і нижнього поясів з урахуванням зміненого перерізу – $m_{ст.н.}$;
- маси основних поперечних ребер жорсткості – $m_{н.р.}$;
- маси опорних ребер – $m_{о.р.}$;
- маси наплавленого металу – зварних швів (1% від суми всіх елементів головної балки) – $m_{з.ш.}$.

$$m_{г.б.} = m_{ст.н.} + m_{н.р.} \cdot n_{н.р.} + m_{о.р.} \cdot n_{о.р.} + m_{з.ш.}; \quad (\text{кг}) \quad (4.91)$$

де $n_{н.р.}$, $n_{о.р.}$ – кількість поперечних і опорних ребер, (шт.).

$$m_{ст.н.} = (t_w \cdot h_w + 2 \cdot t_f \cdot b_f) \cdot l \cdot 7850; \quad (\text{кг}) \quad (4.92)$$

l – довжина елементів, (м).

$$m_{н.р.} = b_h \cdot t_s \cdot h_{ef} \cdot 7850; \quad (\text{кг}) \quad (4.93)$$

літерні позначення див. формулу 4.83.

$$m_{о.р.} = b_{онр} \cdot t_{онр} \cdot h \cdot 7850; \quad (\text{кг}) \quad (4.94)$$

літерні позначення див. формулу 4.77, h – висота головної балки.

$$m_{з.ш.} = (m_{ст.н.} + m_{н.р.} \cdot n_{н.р.} + m_{о.р.} \cdot n_{о.р.}) \cdot 1\% / 100\%; \quad (\text{кг}) \quad (4.95)$$

Виконують розрахунки і визначають масу головної балки:

$$m_{ст.н.} = (0,012 \cdot 1,24 + 2 \cdot 0,02 \cdot 0,2) \cdot 8,2 \cdot 7850 + (0,012 \cdot 1,24 + 2 \cdot 0,02 \cdot 0,34) \cdot 2,4 \cdot 2 \cdot 7850 = 2695,38 \text{ кг};$$

$$m_{н.р.} = 0,09 \cdot 0,006 \cdot 1,24 \cdot 7850 = 5,26 \text{ кг};$$

$$m_{о.р.} = 0,2 \cdot 0,012 \cdot 1,28 \cdot 7850 = 24,12 \text{ кг};$$

$$m_{з.ш.} = (2695,38 + 5,26 \cdot 12 + 24,12 \cdot 2) / 100 = 28,07 \text{ кг};$$

$$m_{г.б.} = 2695,38 + 5,26 \cdot 12 + 24,12 \cdot 2 + 28,07 = 2834,8 \approx 2835 \text{ кг}.$$

4.1.5. Розрахунок центрально – стисненої колони

Вихідні дані для проектування центрально – стисненої колони (за завданням):

- позначка верху настилу $h_{наст.} = 4,1$ м;
- обпирання допоміжної балки – поверхове;
- обпирання головної балки – поверхове;
- сталь марки С 245 з розрахунковим опором $R_y = 240$ МПа.

Визначення навантажень на колону

Вузол сполучення колони з фундаментом приймають шарнірним. Вузол сполучення головної балки з колоною також приймати шарнірним, хоча при примиканні балок до колони збоку (в одному рівні) має часткове защемлення.

Таким чином, розрахунковою схемою колони варто вважати центрально – стиснений стержень із шарнірним обпиранням кінців.

Висота колони визначається в залежності від сполучення головних і допоміжних балок (за завданням).

Висоту колони визначають:

- при поперховому обпиранні допоміжних балок на головні за формулою:

$$H = h_{\text{наст.}} - H_{\text{зл.б.}} - H_{\text{доп. б.}} + H_{\text{загл.}} ; \quad (\text{м}) \quad (4.96)$$

- при сполученні допоміжних балок з головними в одному рівні за формулою:

$$H = h_{\text{наст.}} - H_{\text{зл.б.}} + H_{\text{загл.}} ; \quad (\text{м}) \quad (4.97)$$

де $h_{\text{наст.}}$ – рівень підлоги другого поверху (позначка верху настилу за завданням); $H_{\text{доп. б.}}$ і $H_{\text{зл.б.}}$ – приймати відповідно до попередніх розрахунків; $H_{\text{загл.}}$ - величина заглиблення, приймати рівної 0,5 – 0,6 м.

У випадку шарнірного закріплення розрахункова довжина колони дорівнює її висоті:

$$l_{\text{ef}} = H.$$

З умови рівності жорсткості колони в двох площинах:

$$l_{\text{ef,x}} = l_{\text{ef,y}} = l_{\text{ef}} . \quad (4.98)$$

Навантаження на колону складаються з корисного навантаження і власної маси перекриття. Сумарне навантаження на колону слід визначати за формулою:

$$N = 2 \cdot Q + 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot \gamma_{\text{ф.с.у.}} \cdot m_k \cdot H; \quad (\text{кН}) \quad (4.99)$$

Q – реакція головної балки; m_k – власна вага колони погонної довжини 1м, приймати 100 – 300 кг/м.

Приклад розрахунку відповідно до вихідних даних.

Висоту колони визначаємо з урахуванням поперхового обпирання допоміжних балок на головні:

$$H = 4,1 - 1,28 - 0,24 + 0,59 = 3,17 \text{ м};$$

$$l_{\text{ef}} = 3,17 \text{ м};$$

$$2 \cdot Q = (1,2 \cdot 24,5 + 1,05 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot 113,65) \cdot 4 \cdot 13 + 1,05 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot 2835 = 1618,9 \text{ кН};$$

$$N = 1618,9 + 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot 1,05 \cdot 200 \cdot 3,17 = 1625,4 \text{ кН}.$$

Розрахунок стержня суцільної колони

Необхідна площа поперечного перерізу суцільної колони визначати за формулою:

$$A_{mp} = \frac{N}{\varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c} ; \quad (\text{см}^2) \quad (4.100)$$

N - навантаження в кН, визначають за (4.99); φ - визначати за табл. 72 [2], у залежності від прийнятої гнучкості; R_y - розрахунковий опір сталі по границі текучості в залежності від марки сталі для колон.

Відповідно до необхідної площі поперечного перерізу стержня колони студент повинен запроєктувати переріз зі звареного складеного двотавру (рис. 4.12).

Визначаємо радіуси інерції:

$$i_x = i_y = \frac{l_{ef}}{\lambda} ; \quad (\text{см}) \quad (4.101)$$

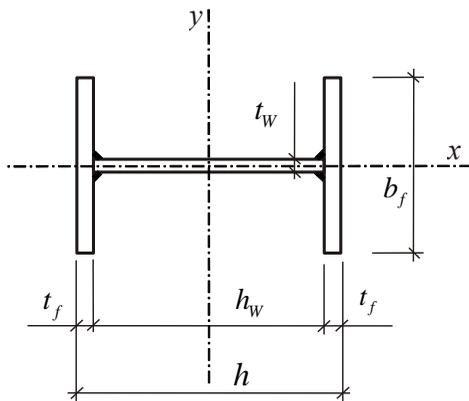


Рис. 4.12. Переріз звареного складеного стержня колони

Визначаємо мінімальні необхідні генеральні розміри перерізу:

$$h_{mp} = \frac{i_y}{\alpha_1} ; \quad (\text{см}) \quad (4.102)$$

$$b_{mp} = \frac{i_x}{\alpha_2} ; \quad (\text{см}) \quad (4.103)$$

α_1, α_2 – коефіцієнти, обумовлені за табл. 4 додатку IV [14].

При призначенні розмірів перерізу колони необхідно керуватися наступними вимогами і рекомендаціями:

1. Ширину поясу і висоту стінки колони приймати відповідно до сортаменту листової сталі, причому з умов технології $b_f = h_w$;
2. На частку поясів необхідно відводити приблизно 80% необхідної площі перерізу стержня;
3. Товщину листів стінки і поясів приймати відповідно до сортаменту;
4. Товщина стінки з умов корозійної стійкості повинна бути не менше 6 мм.

Площа перерізу колони визначається за формулою:

$$A = t_w \cdot (h - 2 \cdot t_f) + 2 \cdot t_f \cdot b_f ; \quad (\text{см}^2) \quad (4.104)$$

Виконуємо розрахунки: $\lambda = 43$; $\varphi = 0,88$;

$$A_{mp} = \frac{1625,4 \cdot 10^{-3}}{0,88 \cdot 240 \cdot 1} = 0,007696 \text{ м}^2 = 76,96 \text{ см}^2;$$

$$i_x = i_y = \frac{317}{43} = 7,37 \text{ см};$$

$$h_{mp} = b_{mp} = \frac{7,37}{0,24} = 30,7 \approx 30 \text{ см};$$

$$A_f = 0,8 \cdot 76,96 = 61,57 \text{ см}^2;$$

$$A_w = 0,2 \cdot 76,96 = 15,39 \text{ см}^2;$$

$$t_f = 61,57 / 2 \cdot 30 = 1,03 \text{ см}; \text{ приймаємо } t_f = 1,0 \text{ см};$$

$$t_w = 15,39 / (30 - 2 \cdot 1,0) = 0,55 \text{ см}; \text{ приймаємо } t_w = 0,6 \text{ см};$$

$$A = 0,6 \cdot (30 - 2 \cdot 1,0) + 2 \cdot 1,0 \cdot 30 = 76,8 \text{ см}^2.$$

Перевірка стійкості стержня суцільної колони

Перевірку стійкості стержня колони необхідно робити за формулою:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} \leq \gamma_c \cdot R_y ; \quad (\text{МПа}) \quad (4.105)$$

φ – коефіцієнт поздовжнього вигину, визначати за табл. 72 [2] у залежності від гнучкості, яку варто приймати за формулою:

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} ; \quad (4.106)$$

l_{ef} – розрахункова довжина колони, визначати за (2.98);

i – радіус інерції перерізу колони, визначати за формулою:

$$i = \sqrt{\frac{I_x}{A}} ; \quad (\text{см}) \quad (4.107)$$

I_x – момент інерції визначати за формулою:

$$I_x = \frac{2 \cdot t_f \cdot b_f^3}{12} + \frac{h_w \cdot t_w^3}{12} ; \quad (\text{см}^4) \quad (4.108)$$

t_f – товщина полиці, b_f – ширина полиці, h_w – висота стінки,
 t_w – товщина стінки.

У випадку невиконання умови (4.105) необхідно підбір перерізу повторити, уточнивши значення гнучкості.

Виконують обчислення:

$$A = 76,8 \text{ см}^2 ;$$

$$I_x = \frac{2 \cdot 1 \cdot 30^3}{12} + \frac{28 \cdot 0,6^3}{12} = 4500,5 \text{ см}^4 ;$$

$$i = \sqrt{\frac{4500,5}{76,8}} = 7,65 \text{ см} ;$$

$$\lambda = \frac{317}{7,65} = 41,4 \text{ см} ; \text{ визначаємо за табл. 72 [2] } \varphi = 0,889 ;$$

$$\sigma = \frac{1625,4}{0,889 \cdot 76,8} = 238,0 < 240 (\text{МПа}) .$$

Умова виконується.

Перевірка стійкості стінки колони

Місцева стійкість стінки центрадно-стиснутих колон перевіряється за формулою:

$$\lambda_w = \frac{h_{ef}}{t_w} \leq \bar{\lambda}_{uw} \sqrt{\frac{E}{R_y}}; \quad (4.109)$$

Для колон двотаврового перерізу:

$$\text{при } \bar{\lambda} < 2,0; \quad \bar{\lambda}_{uw} = 1,30 + 0,15\bar{\lambda}^2; \quad (4.110)$$

$$\text{при } \bar{\lambda} \geq 2,0; \quad \bar{\lambda}_{uw} = 1,20 + 0,35\bar{\lambda}; \quad \text{але не більше } 2,3;$$

$\bar{\lambda}$ - умовна гнучкість визначається за формулою;

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}}; \quad (4.111)$$

h_{ef} – розрахункова висота стінки, рівна повній висоті стінки $h_{ef} = h_w$.

Виконують обчислення:

$$\bar{\lambda} = 41,4 \cdot \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 1,41.$$

При $\bar{\lambda} < 2,0$; обчислюють за формулою:

$$\frac{30 - 2 \cdot 1}{0,6} < (1,30 + 0,15 \cdot 1,41^2) \cdot \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^5}{240}};$$

$$46,67 < 46,82.$$

Умова виконується, стійкість стінки колони забезпечена.

Перевірка стійкості поясних листів колони

Стійкість не облямованої полиці двотаврової колони перевіряють за формулою:

$$\frac{b_{ef}}{t_f} \leq (0,36 + 0,1 \cdot \bar{\lambda}) \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}}; \quad (4.112)$$

b_{ef} – розрахункова ширина звису поясних листів, рівна відстані від грані стінки до краю поясного лиса.

У випадку невиконання умов (4.109), (4.110) чи (4.112) необхідно підвищити стійкість відповідного елемента конструктивними заходами чи змінити переріз колони.

Приклад розрахунків:

$$\frac{30-0,6}{2 \cdot 1} = 14,7 \approx (0,36 + 0,1 \cdot 1,41) \cdot \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^5}{240}} = 14,687;$$

$$14,7 = 14,7.$$

Умова виконується, стійкість поясних листів колони забезпечена. Остаточно приймаємо розміри перерізу колони (рис. 4.13).

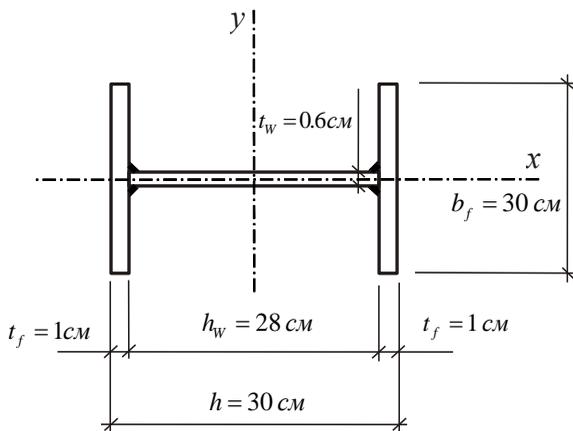


Рис. 4.13. Прийнятий переріз звареного складеного стержня колони

Розрахунок стержня наскрізної колони

Необхідна площа наскрізної колони визначається з розрахунку відносної матеріальної осі (рис. 4.14).

$$A_{mp} = \frac{N}{\varphi_x \cdot R_y \cdot \gamma_c}; \quad (\text{см}^2) \quad (4.113)$$

φ_x – коефіцієнт поздовжнього згину, визначається в залежності від попередньо прийнятої гнучкості (на первісному етапі необхідно задатися величиною гнучкості).

За сортаментом підбираються необхідні номери двотаврів швелерів за допомогою $A_1 > \frac{A_{mp}}{2}$.

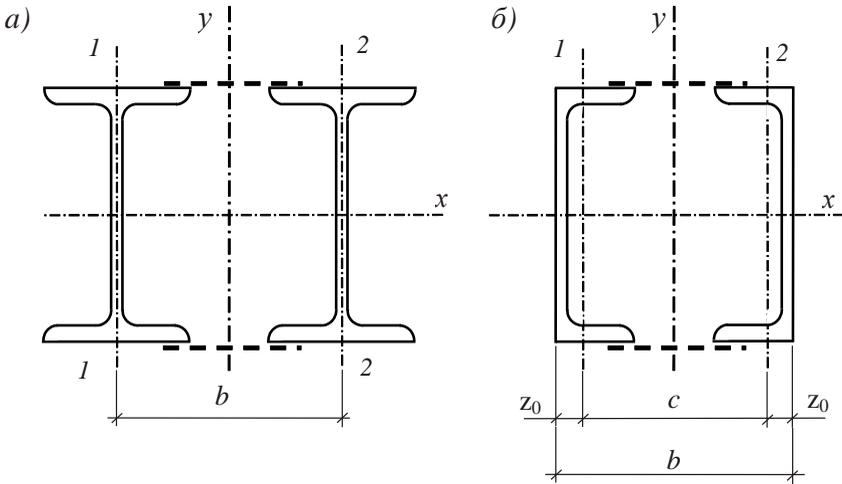


Рис. 4.14. Перерізи наскрізної колони; а) із двотаврів, б) зі швелерів

Правильність підбору перерізу перевіряють за формулою:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_x \cdot A} \leq \gamma_c \cdot R_y; \quad (\text{МПа}) \quad (4.114)$$

A – фактична площа перерізу; φ_x – коефіцієнт поздовжнього згину, визначається за табл. 72 [2] у залежності від фактичної гнучкості λ_x , що визначають за формулою:

$$\lambda_x = \frac{l_{ef}}{i_x}; \quad (4.115)$$

l_{ef} – розрахункова довжина колони, визначати за (4.98); i_x – радіус інерції вітки колони (двотавру чи швелеру), визначити за сортаментом.

Якщо умова (4.114) не виконується чи є значне недонапруження перерізу (більш 10%); необхідно підібрати новий переріз віток, уточнивши значення гнучкості.

Виконуємо розрахунки: $\lambda = 28$, $\varphi_x = 0,937$;

$$A_{mp} = \frac{1625,4 \cdot 10^{-3}}{0,937 \cdot 240 \cdot 1} = 0,007227 \text{ м}^2 = 72,27 \text{ см}^2;$$

$$A_1 > \frac{A_{mp}}{2} = \frac{72,27}{2} = 36,1 \text{ см}^2.$$

Приймаємо за сортаментом двотавр №26Б2, площа перерізу якого $A = 38,2 \text{ см}^2$.

$$\lambda_x = \frac{l_{ef}}{i_x} = \frac{317}{10,9} = 29,1; \quad \varphi_x = 0,934;$$

$$\sigma = \frac{1625,4 \cdot 10^{-3}}{0,934 \cdot 76,4 \cdot 10^{-4}} = 227,1 \text{ МПа} < 240 \text{ МПа}.$$

Недонапруження складає 5%, умова виконується.

Визначення відстані між вітками

Відстань між вітками визначати розрахунком стержня колони щодо вільної осі $u-y$. З умови рівностійкості стержня приведена гнучкість колони щодо вільної осі приймається рівної гнучкості щодо матеріальної осі.

$$\lambda_{ef} = \lambda_x; \quad (4.116)$$

Так, відповідно до норм:

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_g^2}, \quad \text{якщо} \quad \frac{1}{n} \geq 5;$$

$$\text{чи} \quad \lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + 0,82 \cdot (1+n) \cdot \lambda_g^2}, \quad \text{якщо} \quad \frac{1}{n} < 5; \quad (4.117)$$

задавши $\lambda_g \approx 30$, потрібно визначити гнучкість усього стержня колони щодо вільної осі λ_y за формулами:

$$\lambda_y = \sqrt{\lambda_x^2 - \lambda_g^2};$$

$$\text{чи} \quad \lambda_y = \sqrt{\lambda_x^2 - 0,82 \cdot (1+n) \cdot \lambda_g^2}; \quad (4.118)$$

λ_g - гнучкість ділянки окремої вітки між планками щодо власної осі (ось 1-1 чи 2-2, рис. 4.14), що паралельна вільній осі стержня колони, ось U .

$$n = \frac{I_{b1} \cdot c}{I_s \cdot l}; \quad (4.119)$$

I_{b1} - момент інерції вітки щодо осі 1–1 чи 2–2 визначати за сортаментом; I_s - момент інерції перерізу однієї планки щодо власної осі;

$$I_s = \frac{t \cdot h^3}{12};$$

c – відстань між осями віток; $c = b - 2 \cdot z_0$ (див. рис. 4.14).

l – відстань між центрами планок, (див. рис. 4.15).

Рекомендується приймати жорсткість планок таким чином, щоб $\frac{1}{n} \geq 5$.

Відстань між планками у просвіті визначати в залежності від прийнятої гнучкості:

$$l_b = \lambda_g \cdot i_1; \quad (\text{см}) \quad (4.120)$$

i приймається кратним 10, (рис. 4.15).

i_1 - радіус інерції вітки колони щодо осі 1–1 чи 2–2, визначати за сортаментом.

Відстань між вітками колони визначати за формулою:

$$b = \frac{i_y}{\alpha}; \quad (\text{см}) \quad (4.121)$$

α - коефіцієнт, рівний для двотаврів 0,52, для швелерів $\alpha = 0,44$.

i_y - радіус інерції перерізу колони щодо вільної осі:

$$i_y = \frac{l_{ef}}{\lambda_y}; \quad (\text{см}) \quad (4.122)$$

l_{ef} - розрахункова довжина колони, визначати за (4.98);

λ_y - гнучкість стержня колони щодо вільної осі y , визначати за формулою (4.118).

При визначенні ширини колони необхідно стежити, щоб між вітками був зазор не менш 100 мм для очищення і фарбування віток із внутрішньої сторони.

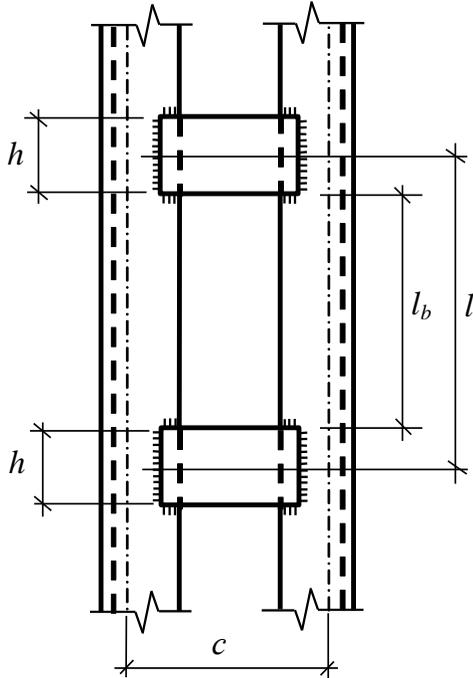


Рис. 4.15. Фрагмент наскрізної колони із швелерів

Перевірку стійкості колони щодо вільної осі роботи за формулою:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_y \cdot A} \leq \gamma_c \cdot R_y; \quad (\text{МПа}) \quad (4.123)$$

φ_y – коефіцієнт, обумовлений залежністю від величини приведеної гнучкості, що визначають за (4.117).

У цій формулі:

$$\lambda_y = \frac{l_{ef}}{i_y}; \quad (4.124)$$

l_{ef} - розрахункова довжина колони, визначати за (4.98);

i_y - радіус інерції перерізу колони, визначати за формулою:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} ; \quad (\text{см}) \quad (4.125)$$

I_y - момент інерції визначати за формулою:

$$I_y = 2 \cdot \left[I_1 + A_1 \cdot \left(\frac{b}{2} - z_0 \right)^2 \right]; \quad (\text{см}^4) \quad (4.126)$$

z_0 – відстань від центральної крапки переріз вітки до зовнішньої грані (рис. 4.14); A_1, I_1 - площа вітки та її момент інерції відносно осі 1 – 1.

Для колон із двотаврів $z = 0$.

Якщо λ_{ef} виходить менше λ_x , перевірку за 4.123 можна не робити.

Виконаємо відповідні обчислення: $\lambda_{ef} = \lambda_x = 29,1$.

Визначаю λ_g згідно умови, приймаю відстань між планками:

$$l_b = 60 \text{ см}.$$

$$\lambda_g = \frac{l_b}{i_1} = \frac{60}{2,71} = 22,14 ;$$

$$\lambda_y = \sqrt{\lambda_x^2 - \lambda_g^2} = \sqrt{29,1^2 - 22,1^2} = 18,88 ;$$

$$i_y = \frac{l_{ef}}{\lambda_y} = \frac{317}{18,88} = 16,79 \text{ см}.$$

$$\text{Відстань між вітками колони: } b = \frac{i_y}{\alpha} = \frac{16,79}{0,52} = 32,289 \text{ см}.$$

Приймаємо $b = 330$ мм.

$$I_y = 2 \cdot \left[I_1 + A_1 \cdot \left(\frac{b}{2} - Z_0 \right)^2 \right] = 2 \cdot \left[280 + 38,2 \cdot \left(\frac{33}{2} - 0 \right)^2 \right] = 21359,9 \text{ см}^4 ;$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{21359,9}{76,4}} = 16,72 \text{ см} ;$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef}}{i_y} = \frac{317}{16,72} = 18,96.$$

Для обчислення приведеної гнучкості щодо вільної осі треба перевірити відношення погонних жорсткостей планки і вітки

$$n = \frac{I_{b1} \cdot c}{I_s \cdot l} = \frac{280 \cdot 33}{533,3 \cdot 80} = 0,21657;$$

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{0,21657} = 4,617 < 5.$$

Приведену гнучкість обчислюємо за формулою (2.117) при відношенні погонних жорсткостей планки і вітки менш ніж 5:

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + 0,82 \cdot (1+n) \cdot \lambda_g^2} = \sqrt{18,96^2 + 0,82 \cdot (1+0,21657) \cdot 22,14^2} = 29,1;$$

Тому що $\lambda_{ef} = \lambda_x = 29,1$, напруження можна не перевіряти, колона стійка в двох площинах.

Розрахунок планок наскрізних колон

Планки наскрізних колон необхідно розраховувати на умовну поперечну силу, величину якої варто визначати за формулою

$$Q_{fic} = 7,15 \cdot 10^{-6} \cdot \left(2330 - \frac{E}{R_y} \right) \cdot \frac{N}{\varphi}; \quad (\text{кН}) \quad (4.127)$$

N - подовжнє зусилля в складеному стержні; φ - коефіцієнт подовжнього вигину, прийнятий для складеного стержня в площині сполучних елементів; E - модуль пружності, МПа; R_y - розрахунковий опір стали, МПа;

Зусилля, що зрізує планку, визначати за формулою:

$$F_s = \frac{Q_s \cdot l}{c}; \quad (\text{кН}) \quad (4.128)$$

момент, що згинає планку за формулою:

$$M_s = \frac{Q_s \cdot l}{2}; \quad (\text{кН} \cdot \text{м}) \quad (4.129)$$

$Q_s = \frac{Q_{fic}}{2}$ - умовна поперечна сила, що приходить на планку однієї грані; c - відстань між осями віток; для колон з вітками з двотаврів $c = b$, зі швелерів відповідно:

$$c = b - 2 \cdot z_o; \quad (\text{см})$$

l - відстань між осями планок

$$l = l_b + h; \quad (\text{см}) \quad (4.130)$$

h - ширина планки, приймати

$$h = (0,5 \div 0,75) \cdot b; \quad (\text{см}).$$

Довжина планки приймається так, щоб вони заходили на галузь на 30-40 мм. Товщина планок призначається з умови:

$$\frac{h}{t} \leq 30; \quad \frac{b}{t} \leq 50. \quad (4.131)$$

Міцність планок перевіряти за формулами:

$$\sigma = \frac{6 \cdot M_s}{t \cdot h^2} \leq \gamma_c \cdot R_y; \quad (\text{МПа}) \quad (4.132)$$

$$\tau = \frac{F_s}{t \cdot h} \leq \gamma_c \cdot R_s; \quad (\text{МПа}) \quad (4.133)$$

Кутовий шов, яким приварюються планки, перевіряти за формулами:

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{6 \cdot M_s}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w^2}\right)^2 + \left(\frac{F_s}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w}\right)^2} \leq R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c; \quad (\text{МПа}) \quad (4.134)$$

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{6 \cdot M_s}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w^2}\right)^2 + \left(\frac{F_s}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w}\right)^2} \leq R_{wz} \cdot \gamma_{wz} \cdot \gamma_c; \quad (\text{МПа}) \quad (4.135)$$

Значення $\beta_f, \beta_z, R_{wz}, R_{wf}, \gamma_{wf}, \gamma_{wz}, \gamma_c$ - брати зі СНиП II-23-81*.

Виконаємо обчислення:

$$Q_{fic} = 7,15 \cdot 10^{-6} \cdot \left(2330 - \frac{2,06 \cdot 10^5}{240}\right) \cdot \frac{1625,4}{0,937} = 18,2 \text{ кН}$$

$$Q_s = \frac{Q_{fic}}{2} = \frac{18,2}{2} = 9,1 \text{ кН};$$

Просвіт між вітками: $b_l = b - b_f = 33 - 12 = 21$ см;

Приймаємо довжину пластинки: $b_{nl} = b_l + 8 = 21 + 8 = 29$ см;

Ширина планки: $h = (0,5 \div 0,75) \cdot b_{nl} = 20$ см;

Товщина планок призначається з умови:

$$\frac{h}{t} \leq 30; \quad t = 20/30 = 0,67 \text{ см};$$

$$\frac{b_{nl}}{t} \leq 50; \quad t = 29/50 = 0,58 \text{ см};$$

Приймаємо товщину планок: $t = 0,8 \text{ см}$.

Відстань між осями планок:

$$l = 60 + 20 = 80 \text{ (см)}.$$

$$F_s = \frac{9,1 \cdot 80}{33} = 22,1 \text{ (кН)}; \quad M_s = \frac{9,1 \cdot 80}{2} = 364 \text{ (кН} \cdot \text{см)}.$$

Міцність планок перевіряємо за формулами:

$$\sigma = \frac{6 \cdot 364}{0,8 \cdot 20^2} = 6,825 \text{ (кН / см}^2\text{)} = 68,25 \text{ (МПа)} < 240 \text{ (МПа)};$$

$$\tau = \frac{22,1}{0,8 \cdot 20} = 1,38 \text{ (кН / см}^2\text{)} = 13,8 \text{ (МПа)} < 139,2 \text{ (МПа)};$$

Кутовий шов, яким приварюються планки, перевіряємо за формулою:

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{6 \cdot M_s}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w^2}\right)^2 + \left(\frac{F_s}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w}\right)^2} \leq R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c;$$

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{6 \cdot 364}{0,7 \cdot 0,8 \cdot 20^2}\right)^2 + \left(\frac{22,1}{0,7 \cdot 0,8 \cdot 20}\right)^2} = 99,5 < 180 \cdot 1 \cdot 1 \text{ (МПа)}.$$

Перевірка міцності звареного шва виконувалася тільки по металі шва, тому що:

$$\beta_f \cdot R_{wf} = 0,7 \cdot 180 = 126 \text{ (МПа)} < \beta_z \cdot R_{wz} = 1 \cdot 166 = 166 \text{ (МПа)};$$

$$R_{wf} = 0,55 \cdot \frac{R_{win}}{\gamma_{wn}} = 0,55 \cdot \frac{410}{1,25} = 180 \text{ (МПа)};$$

$$R_{wz} = 0,45 \cdot R_{un} = 0,45 \cdot 370 = 166 \text{ (МПа)}.$$

Конструктивне оформлення стержня колони

Стійкість стінки і полиць колони забезпечується при розрахунку стержня колони. Стінки суцільних колон при $\frac{h_{ef}}{t_w} \geq 2,2 \sqrt{\frac{E}{R_y}}$ варто

зміцнювати поперечними ребрами жорсткості, розташованими на відстані $(2,5 \div 3) \cdot h_{ef}$ одне від іншого, на кожному відправному елементі повинне бути не менш двох ребер.

Відправні елементи наскрізних колон варто зміцнювати діафрагмами, які варто розташовувати в кінці відправного елемента.

Приклад розрахунку:

$$\frac{28}{0,6} < 2,2 \cdot \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^5}{240}}; \quad 46,7 < 64,45.$$

Виходячи з отриманого результату, стінку суцільної колони досить зміцнити тільки двома поперечними ребрами.

Конструктивне оформлення оголовка колони і сполучення балки з колоною

При обпиранні балки на колону зверху оголовок колони складається з опорної плити і ребер, що підтримують плиту і передають навантаження на стержень колони. Ребра варто встановлювати під опорними ребрами балок. Товщину опорної плити приймати конструктивно в межах (20÷25) мм. Ребра оголовка приварюються до опорної плити і до віток колони при наскрізному стержні до стінки колони при суцільному стержні.

Шви, що закріплюють ребро оголовка до плити повинні витримувати повний тиск на оголовок. Висота катетів цих швів визначається за формулами:

$$K_f \geq \frac{N}{\beta_f \cdot l_w \cdot R_{wf}}; \quad (\text{см}) \quad (4.136)$$

$$K_z \geq \frac{N}{\beta_z \cdot l_w \cdot R_{wz}}; \quad (\text{см}) \quad (4.137)$$

Висоту ребра визначають виходячи із необхідної довжини швів, що передають навантаження на колону:

$$l_w \geq \frac{N}{4\beta_f \cdot K_f \cdot R_{wf}}; \quad (\text{см}) \quad (4.138)$$

$$l_w \geq \frac{N}{4\beta_z \cdot K_z \cdot R_{wz}}; \quad (\text{см}) \quad (4.139)$$

Позначення $\beta_f, \beta_z, R_{wz}, R_{wf}$ - брати зі СНиП II-23-81*.

Товщину ребра оголовка визначаємо з умови опору його зминанню під повним опорним тиском за формулою:

$$t_s = \frac{N}{b_s \cdot R_p}; \quad (\text{см}) \quad (4.140)$$

$$R_p = \frac{R_{un}}{\gamma_m}; \quad (\text{МПа}) \quad (4.141)$$

де b_s – повна ширина ребра; R_p – розрахунковий опір стали зминанню; R_{un} – тимчасовий опір стали розриву; γ_m – коефіцієнт надійності по матеріалу, для найбільш поширених сталей $\gamma_m = 1,05$.

Для додання ребрам жорсткості і зміцнення стінки стержня колони від втрати стійкості в місця передачі зосереджених навантажень, вертикальні ребра варто обрамляти знизу горизонтальними ребрами, привареними до стінки колони і до ребра.

Якщо балка кріпиться до колони збоку, то вона повинна спиратися на опорний столик з листа товщиною 25÷40 мм. Столик варто приварювати до колони по трьох сторонах. Сумарну довжину швів, якими приварюються столик, варто приймати більшої з двох величин:

$$\sum l_w = \frac{1,3 \cdot N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}}; \quad (\text{см}) \quad (4.142)$$

$$\sum l_w = \frac{1,3 \cdot N}{\beta_z \cdot k_f \cdot R_{wz}}; \quad (\text{см}) \quad (4.143)$$

Приклад розрахунку, розглянутого варіанта завдання:

$$l_w = \frac{1625,4 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 0,7 \cdot 180 \cdot 0,008} = 0,4 \text{ м};$$

$$l_w = \frac{1625,4 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 1 \cdot 166 \cdot 0,008} = 0,31 \text{ м}.$$

Приймаємо більше з отриманих значень $l_w = 0,4 \text{ м}$.

$$K_f = \frac{1625,4 \cdot 10^{-3}}{0,7 \cdot 180 \cdot (0,4 \cdot 4)} = 0,008 \text{ м};$$

$$K_f = \frac{1625,4 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 166 \cdot 1,6} = 0,006 \text{ м};$$

$$R_p = \frac{370}{1,05} = 352,38 \text{ МПа}; \quad t_s = \frac{1625,4 \cdot 10^{-3}}{0,3 \cdot 352,38} = 0,015 \text{ м} = 1,5 \text{ см}.$$

Товщину ребра оголовка приймаємо $t_s = 16$ мм.

Товщину опорної плити приймаємо $t_{он.пл.} = 20$ мм.

Розрахунок і конструктивне оформлення бази колони

У центрально-стиснених колонах приймають два типи баз (рис. 4.16). Після визначення необхідного типу бази розраховують розміри її опорної плити в плані. Необхідна площа плити:

$$A_{пл} = \frac{N}{R_{\phi}} ; \quad (\text{см}^2) \quad (4.144)$$

де N - розрахункове навантаження на колону; R_{ϕ} — розрахунковий опір матеріалу фундаменту, зазвичай приймають $3 \div 8$ МПа.

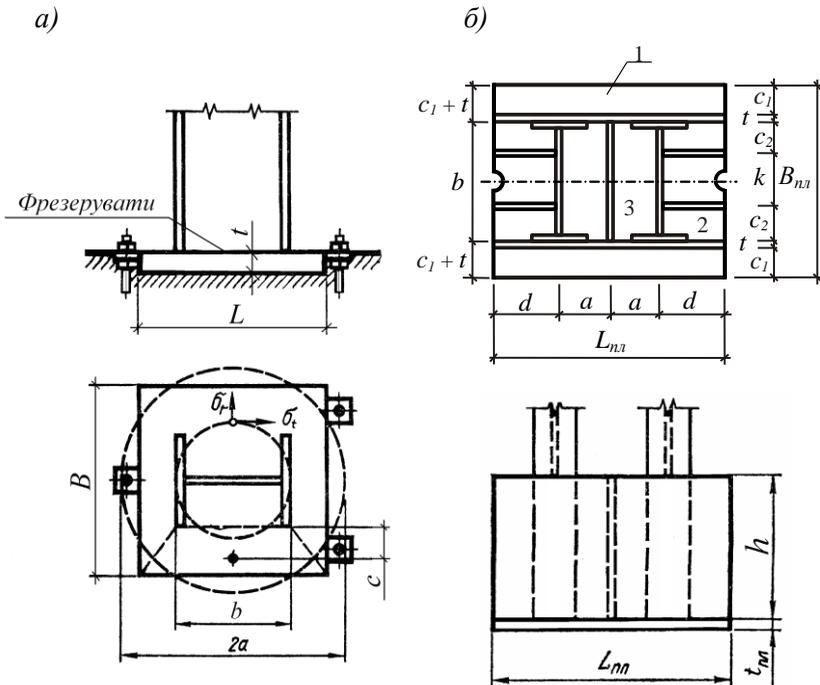


Рис. 4.16 Базы центрально-стиснених колон:

а) – із фрезерованим торцем; б) – із розподільною конструкцією

Для першого типу бази плита приймається квадратною, а для другого за конструктивними вимогами визначається ширина плити:

$$B_{nl} = B_{mp} + 2 \cdot t_{mp} + 2 \cdot c; \quad (4.145)$$

де B_{mp} - відстань між вітками траверс, тобто ширина чи висота перерізу колони; t_{mp} - товщина траверси; c - вільний виступ плити за траверсу, прийнятий рівним $2 \div 6$ см.

Довжина плити визначається за формулою:

$$L_{nl} = \frac{A_{nl}}{B_{nl}}; \quad (4.146)$$

Якщо $L_{nl} > 2 \cdot B_{nl}$, переходять до розширеної бази. Товщина опорної плити для колони з фрезерованим торцем визначається з розгляду роботи неукріпленого трапецієдного звису плити як консолі (при малому звісі) або шляхом заміни прямокутної пластинки і перерізу колони рівновеликими їм по площі колами (при великому звісі плити).

При першому випадку згинальний момент плити:

$$M = \sigma_{\phi} \cdot A_{\kappa} \cdot c'; \quad (4.147)$$

де σ_{ϕ} - напруження у фундаменті під плитою бази; A_{κ} - площа трапеції умовної консольної ділянки; c' - відстань від центра ваги трапеції до крайки стержня колони.

Необхідна товщина плити:

$$t_n = \sqrt{\frac{6 \cdot M}{b \cdot R_{y,nl} \cdot \gamma_c}}; \quad (4.148)$$

де b - ширина стержня колони, що примикає до розглянутої трапеції (рис. 4.16, а). Товщина плити може досягати $60 \div 160$ мм і більш.

В другому випадку для кожної крапки пластинки можна визначити згинальні моменти в двох напрямках: M_r - у радіальному і M_t - у тангенціальному. При ширині розрахункового елемента 1 см вони можуть бути обчислені за формулами (кН·см):

$$M_r = k_r \cdot N; \quad M_t = k_t \cdot N; \quad (4.149)$$

де k_r , k_t - коефіцієнти, що залежать від відношення радіуса колони до, радіусу плити β .

Максимальний згинальний момент знаходиться у точках, що лежать на границі плити і колони. Значення k_r і k_f для цих точок приведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2.

Коефіцієнти для розрахунку плити як круглої пластинки з урахуванням торця, що фрезерується

β	0,3	0,4	0,5	0,6
k_r	0,0815	0,0517	0,0331	0,0200
k_t	0,1020	0,0752	0,0541	0,0377

Товщиною плити задаємося виходячи з розрахунку плити як консолі (перший випадок).

По знайдених згинальних моментах і нормальній силі визначають напруження:

нормальні

$$\sigma_r = \frac{6 \cdot M_r}{t_{nl}^2} ; \quad \sigma_t = \frac{6 \cdot M_t}{t_{nl}^2} ; \quad (4.150)$$

дотичні

$$\tau = \frac{N}{2 \cdot \pi \cdot b \cdot t_{nl}} ; \quad (4.151)$$

Приведені напруження (по IV теорії міцності):

$$\sigma_{np} = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_t^2 - \sigma_r \cdot \sigma_t + 3 \cdot \tau^2} \leq R_{y,nl} ; \quad (4.152)$$

Для сприйняття напружень від випадкових моментів і поперечних сил прикріплення стержня колони з фрезерованим торцем до плити розраховується на зусилля, що складає 15% загального тиску.

Товщина опорної плити для другого типу бази визначається з розрахунку її як пластинки, обертої на елементи перерізу стержня і бази колони і навантаженої рівномірно розподіленою реактивною відсічкою фундаменту.

У залежності від конструкції бази опорна плита може мати ділянки з обпиранням на чотири чи три канти (при відношенні розмірів ділянки плити менш двох); на два канти (паралельних один одному чи дотичних під кутом) і консольні (див. рис. 4.16, б).

Згинальні моменти для ділянок з обпиранням на чотири канти визначаються за формулою:

$$M_3 = \alpha_1 \cdot \sigma_\phi \cdot a^2; \quad (4.153)$$

де σ_ϕ - тиск на 1 см² плити (не більш R_ϕ); a - коротка сторона ділянки плити; α_1 - коефіцієнт, що визначається за табл. 4.3.

Для ділянки, що спирається на три і два канти (що стикаються під кутом):

$$M_2 = \beta \cdot \sigma_\phi \cdot c_2^2; \quad (4.154)$$

де c_2 — довжина вільного краю (при обпиранні на три канти) чи розмір по діагоналі між кантами (при обпиранні на два канти). Значення коефіцієнта β наведені в табл. 4.4.

Згинальний момент, що діє на смузі шириною 1 см на консольній ділянці:

$$M_1 = \frac{\sigma_\phi \cdot c_1^2}{2}; \quad (4.155)$$

Таблиця 4.3

Значення коефіцієнта α_1 для формули (4.153)

b/a	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	> 2
α_1	0,048	0,055	0,063	0,069	0,075	0,081	0,086	0,091	0,094	0,098	0,1	0,125

Таблиця 4.4

Значення коефіцієнта β для формули (4.154)

d/c_2	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	2	> 2
β	0,060	0,074	0,088	0,097	0,107	0,112	0,120	0,122	0,132	0,133

Примітка. Тут d (при обпиранні на три канти) див. рис. 4.16.

По найбільшому зі знайдених для різних ділянок плити згинальних моментів визначається необхідна товщина плити:

$$t_{nl} = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{\max}}{R_{y,nl} \cdot \gamma_c}}. \quad (4.156)$$

Товщина плити приймається $20 \div 40$ мм, а іноді і більшою. У базі другого типу, крім розрахунку опорної плити, необхідно розраховувати траверси, діафрагми, ребра жорсткості і їхнє прикріплення. У залежності від конструкції траверси розглядаються як двухконсольні балки чи як дві консолі, що сприймають згинальний момент від реактивного тиску фундаменту. Сумарна довжина швів для прикріплення стержня колони при восьми вертикальних швах обчислюється за формулою:

$$h_{TP} = l_w = \frac{N}{8 \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}} \quad (4.157)$$

При цьому товщина шва k_f приймається не більш $1 - 1,2$ товщини траверси, а остання (з конструктивних вимог) – $10 - 14$ мм. Шви між опорною плитою звареної колони і траверсою розраховуються на повне зусилля, що діє в колоні.

Приклад розрахунку бази колони (у двох варіантах для суцільної і для наскрізної колони).

Варіант 1.

Для суцільної колони приймаємо базу з фрезерованим торцем.

Розглянемо випадок, коли $R_\phi = 5,2$ МПа, ($R_{np} = 4,4$ МПа – призматична міцність бетону марки М100). Приймаючи плиту квадратною, визначаємо її ширину:

$$B_{nl} = \sqrt{\frac{N}{R_\phi}} = \sqrt{\frac{1,6254}{5,2}} = 0,56 \text{ м} = 56 \text{ см};$$

Приймаю $B_{nl} = 60$ см.

При $b_k / B_{nl} = 30 / 60 = 0,5$ визначаємо необхідну товщину плити, розглядаючи трапецоїдну ділянку плити як консоль; потім замінюючи умовно квадратні перерізи плити і стержня колони рівновеликими їм за площею колами і використовуємо для них готові рішення, перевіряємо отриману товщину плити.

Попередньо розраховують напруга під плитою бази.

$$\sigma_\phi = \frac{N}{B_{nl} \cdot L_{nl}} = \frac{1625,4}{60 \cdot 60} = 0,45 \text{ кН} / \text{см}^2 < 0,44 \times 1,2 = 0,52 \text{ кН} / \text{см}^2.$$

Визначаємо відстань від краю контуру колони до центра ваги консолі:

$$c = \frac{\sum S}{\sum A} = 15 \cdot \frac{2 \cdot 60 + 30}{3 \cdot (60 + 30)} = 8,33 \text{ см}.$$

Площа консолі $A_k = \frac{60 + 30}{2} \cdot 15 = 675 \text{ см}^2$.

Згинальний момент у забиванні консолі:

$$M = \sigma_{\phi} \cdot A_k \cdot c = 0,45 \cdot 675 \cdot 8,33 = 2531 \text{ (кН} \cdot \text{см)}.$$

Необхідна товщина плити:

$$t_{nl} = \sqrt{6M / b \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \sqrt{\frac{6 \cdot 2531}{30 \cdot 23 \cdot 1}} = 4,69 \text{ см}.$$

$$R_y = 230 \text{ МПа} = 23 \text{ кН/см}^2.$$

Приймаємо $t_{nl} = 50$ мм відповідно до сортаменту прокатної товстолистової сталі (за ГОСТ 19903 – 74*).

Визначаємо радіус кіл, рівновеликих по площі плиті і контуру стержня колони:

$$a = \sqrt{\frac{60^2}{\pi}} = 33,86 \text{ см}; \quad b = \sqrt{\frac{30^2}{\pi}} = 16,93 \text{ см};$$

$$\text{По відношенню } \beta = \frac{b}{a} = \frac{16,93}{33,86} = 0,5.$$

По табл. 4.2 знаходимо значення коефіцієнтів:

$$k_r = 0,0331, \quad k_t = 0,0541;$$

$$M_r = 0,0331 \cdot 1625,4 = 53,63 \text{ кН} \cdot \text{см};$$

$$M_t = 0,0541 \cdot 1625,4 = 87,66 \text{ кН} \cdot \text{см};$$

По знайдених згинальних моментах і нормальній силі визначають напруження:

$$\sigma_r = \frac{6 \cdot M_r}{t_{nl}^2} = \frac{6 \cdot 53,63}{5^2} = 128,7 \text{ МПа};$$

$$\sigma_t = \frac{6 \cdot M_t}{t_{nl}^2} = \frac{6 \cdot 87,66}{5^2} = 210,4 \text{ МПа};$$

$$\tau = \frac{N}{2 \cdot \pi \cdot b \cdot t_{nl}} = \frac{1625,4}{2 \cdot 3,14 \cdot 16,93 \cdot 5} = 30,4 \text{ МПа}.$$

Перевіряємо приведені напруження:

$$\sigma_{np} = \sqrt{128,7^2 + 210,4^2 - 128,7 \cdot 210,4 + 3 \cdot 30,4^2} = 191,2 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{np} = 191,2 \text{ МПа} < R_y = 230 \text{ МПа}.$$

Недонапруження складає 16% що припустимо, тому що найближча менша товщина листового прокату за сортаментом не задовольняє по міцності.

Варіант 2.

Для наскрізної колони приймаємо базу з траверсою і консольними ребрами, показано на рис. 4.16, б.

Приймаємо фундамент із бетону марки М100, для якого $R_\phi = 5,2 \text{ МПа}$.

Тиск від стержня колони через траверси й опорну плиту передається на фундамент. Площа опорної плити визначається за формулою:

$$A_{nl} = \frac{N}{R_\phi} = \frac{1625,4 \cdot 10^{-3}}{5,2} = 0,311596 \text{ м}^2 = 3115,96 \text{ см}^2.$$

Розмір B та L призначати кратним 50 мм у межах необхідної площі з урахуванням зручного розміщення віток траверси і зміцнювальних опорну плиту ребер.

$$B_{nl} = 26 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 6,5 = 41 \text{ см};$$

$$L_{nl} = \frac{3115,96}{41} = 75,9 = 76 \text{ см};$$

$$\sigma_\phi = \frac{N}{B_{nl} \cdot L_{nl}} = \frac{1625,4 \cdot 10^{-3}}{0,41 \cdot 0,76} = 5,199 \text{ МПа} < R_\phi = 5,2 \text{ МПа}.$$

Для визначення товщини плити її варто розбити на характерні ділянки, (рис. 4.17) і для кожного визначити згинальний момент діючий на смугі шириною 1 см.

Для пластинки обпертої на 4 канти (ділянка 3) згинальний момент визначається за формулою:

$$M_3 = \alpha_1 \cdot \sigma_\phi \cdot a^2 = 0,085 \cdot 5,2 \cdot 0,165^2 = 12,03 \text{ (кН см)};$$

коефіцієнт α_1 визначається за табл. 2.3, у залежності від співвідношення b/a ;

$$b/a = 260/165 = 1,576; \quad \alpha_1 = 0,085.$$

Ділянка 2 при обпиранні на 3 канти згинальний момент визначається за формулою:

$$d/c_2 = 215/86 = 2,5; \quad \beta = 0,133;$$

$$M_2 = \beta \cdot \sigma_\phi \cdot c_2^2 = 0,133 \cdot 5,2 \cdot 8,6^2 = 5,12 \text{ (кН см)}.$$

де σ_ϕ – середній тиск на 1 см² плити, рівне напрузі на фундамент.

Коефіцієнти α і β визначити за табл. 4.3, 4.4 в залежності від b/a і d/c_2 .

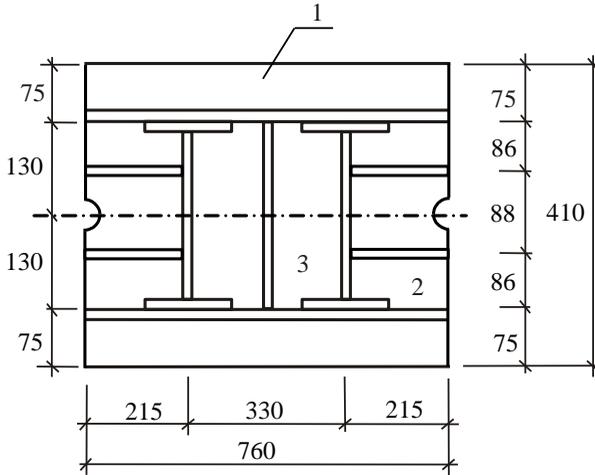


Рис. 4.17. База наскрізної колони

При відношенні b/a більше 2 розрахунковий момент визначати як для однопрогової вільно лежачої балкової плити.

Згинальний момент для ділянки 1 визначається:

$$M_1 = \frac{\sigma_\phi \cdot l^2}{2} = \frac{5,2 \cdot 6,5^2}{2} = 10,99 \text{ (кН см)}.$$

По найбільшому зі знайдених моментів визначається необхідна товщина плити:

$$t_n^{TP} = \sqrt{\frac{6M}{R_y}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 12,03 \cdot 10^{-3}}{230}} = 1,8 \text{ (см)}.$$

Товщина плити приймається за сортаментом, зазвичай 20 – 40 мм.

Приймаємо 20 мм.

Висота траверси визначається довжиною восьми вертикальних швів якими траверсу приварюється до стержня колони:

$$h_{TP} = l_w = \frac{N}{8\beta_z \cdot R_f \cdot R_{wz}} = \frac{1,6254}{8 \cdot 0,7 \cdot 0,007 \cdot 180} = 0,23 \text{ м.}$$

Приймаємо висоту траверси 25 см, товщиною 1 см.

4.2. Приклад розрахунку поперечної рами однопролітної промислової будівлі

Зазвичай, у реальному проектуванні промислові будівлі мають не один, а декілька прольотів. За рахунок сумісної роботи ригелів і колон багатопрольотної рами її горизонтальна жорсткість у площині рами вища ніж у однопрольотній. В ході проектування постають питання: який вибрати вузол сполучення ригеля з колоною жорсткий чи шарнірний? Які переваги чи недоліки можуть бути в прийнятті кожного з цих варіантів? В даному випадку вузли сполучення колон з ригелем доцільно виконувати шарнірними враховуючи те, що вони простіші у виконанні на монтажі та краще працюють (не виникає згинальних моментів) у випадках просідання окремих колони, що може бути обумовлено нерівномірною осадкою ґрунтової основи. Тому в рамках другого курсового проекту за дисципліною «Металеві конструкції» студентам пропонується виконувати розрахунки і конструювання поперечної рами з шарнірним з'єднанням ригеля з колонами.

Наведений приклад розроблений за аналогією тим, що наводяться у підручнику [1] і необхідний для порівняння і аналізу отриманих результатів комп'ютерних розрахунків, а також може бути корисним для студентів при виконанні розрахунків вручну. Для поглибленого вивчення питань проектування металевих конструкцій промислових будівель слід користуватися відповідною літературою, наприклад [1-3, 8, 9, 15] та ін.

4.2.1. Компонування поперечної рами та проектування схеми каркасу

Вихідні дані для проектування каркасу однопрольотної промислової будівлі (за завданням): проліт рами $L=24$ м; крок поперечних рам $B=12$ м. Будівля обладнана двома мостовими кранами вантажопідйомністю $Q = 80/20$ т групи режимів роботи 5К. Позначка головки підкранових рейок $h_{г.р} = +11,6$ м, довжина будівлі – 108 м; район будівництва – м. Дніпропетровськ.

Утеплювач – жорсткі мінераловатні плити товщиною $t = 100$ мм, ($\gamma = 200$ кг/м³) за табл. 4.5. Несучі конструкції покрівлі – сталевий профільований настил Н 60 – 845 – 0,7 ($g = 8,8$ кг/м²), що вкладається по наскрізним прогонам. Несучі конструкції покриття – уніфіковані кроквяні ферми з паралельними поясами. Стінове огородження – бетонні стінові панелі. Будівля обладнана світлоаераційним ліхтарем. Вікна з подвійним склінням. Клас бетону фундаментів приймаємо В12,5.

а) Визначення розмірів по вертикалі:

Для кранів вантажопідйомністю $Q = 80/20$ т приймаємо схему зі ступінчастими колонами та обираємо підкранові балки на уступ колони. Для даного типу кранів $Q=80/20$ т при $L=24$ м за довідковими даними табл. Д.2.2 [1] вибираємо основні характеристики кранів: $H_{cr}=3700$ мм, $B_{cr}=400$ мм, тип рейки Кр-100 з висотою $h_r=150$ мм, висота підкранової балки $h_b=1650$ мм. Визначимо розмір H_2 :

$$H_2 = H_{cr} + c + 100 = 3700 + 200 + 100 = 4000 \text{ мм.}$$

Виконується умова уніфікації $H_2 = 4000$ мм, що кратно 200 мм.

H_{cr} - габаритний розмір крана; 100 мм - допуск на його виготовлення; $c = 200 \dots 400$ мм - зазор, що враховує провисання конструкцій (при $L = 24$ м приймаємо $c = 200$ мм). $H_1 = h_{г.р} = 11,6$ м.

Визначаємо:

$$H_0 = H_1 + H_2 = 11600 + 4000 = 15600 \text{ мм.}$$

Значення $H_0 = 15600$ мм кратно 600 мм, що відповідає умові уніфікації. Оскільки вантажопідйомність крану більше ніж 50 т, то глибину заглиблення колони приймаємо $H_3 = 600$ мм. Тоді повна висота колони буде:

$$I_c = H_0 + H_3 = 15600 + 600 = 16200 \text{ мм.}$$

Довжини верхньої і нижньої частини колони визначаються за формулами:

$$I_2 = h_b + h_r + H_2 = 1650 + 150 + 4000 = 5800 \text{ мм;}$$

$$I_1 = I_c - I_2 = 16200 - 5800 = 10400 \text{ мм.}$$

Висота кроквяної ферми з паралельними поясами приймається у відповідності з вимогами уніфікації і становить 3150 мм. Ферма шарнірно з'єднується з колонами і спирається на них зверху. Компонувальна схема рами наведена на рис. 4.18.

4.2.2. Навантаження на поперечну раму

Збір постійного навантаження

Навантаження від ваги покриття визначаємо в табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Навантаження від власної ваги конструкцій покриття на 1 м^2 [1]

Елемент покрівлі	Характеристичне навантаження, кН/м^2	γ_f	Розрахункове навантаження, кН/м^2
Захисний шар гравію, втопленого в бітумну мастику $t = 10 \text{ мм}$, $\gamma = 2000 \text{ кг/м}^3$	0,2	1,3	0,26
Гідроізоляція (4 шари руберойду)	0,16	1,3	0,21
Утеплювач: жорсткі мінераловатні плити ($t = 100 \text{ мм}$, $\rho = 200 \text{ кг/м}^3$)	0,2	1,3	0,26
Пароізоляція (один шар пергаменту)	0,05	1,3	0,06
Сталевий профільований настил Н60-845-0,7	0,09	1,05	0,09
Наскрізнi прогони	0,09	1,05	0,10
Наскрізнi ригелі (ферми)	0,30	1,05	0,31
В'язі по покриттю	0,05	1,05	0,05
Каркас ліхтаря	0,10	1,05	0,11
Разом:	$g_n = 1,23$	–	$g = 1,45$
Те саме, з урахуванням коефіцієнта надійності за призначенням $\gamma_n = 0,95$	$g_n = 1,17$	–	$g_{m,нок} = 1,38$

Погонне навантаження на ригель некрайньої рами, наприклад по осі 3 визначаємо за формулою:

$$q_{m,n} = \frac{g_{m,нок} \cdot B}{\cos \alpha} = \frac{1,38 \cdot 12}{1} = 16,56 \frac{\text{кН}}{\text{м}}, \text{ де } \cos \alpha = 1.$$

Тиск на колону від постійного навантаження на ригелі визначаємо за формулою:

$$F_{\phi.n.} = q_{m,n} \cdot l / 2 = 16,56 \cdot \frac{24}{2} = 198,72 \text{ кН}.$$

Зосереджений момент, прикладений до верху колони від постійного навантаження на ригелі:

$M_{\phi.n.} = F_{\phi.n.} \cdot e_{\phi}$, де e_{ϕ} - ексцентриситет навантаження (відстань від центра опорного вузла ферми до геометричної осі верхньої частини колони). За прийнятою конструктивною схемою: $e_{\phi} = 200 \text{ мм} = 0,20 \text{ м}$.

$$M_{\phi.n.} = 198,72 \cdot 0,20 = 39,74 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Граничне розрахункове навантаження від власної ваги східчастої колони:

$$F_k = g_k \cdot B \cdot \frac{l}{2} \cdot \gamma_{fm} \cdot \gamma_n = 0,5 \cdot 12 \cdot \frac{24}{2} \cdot 1,05 \cdot 0,95 = 71,82 \text{ кН};$$

де g_k - характеристичне значення рівномірно розподіленого навантаження від власної ваги колон, $g_k = 0,5 \text{ кН} / \text{м}^2$.

Навантаження від ваги відповідно нижньої та верхньої частин колони:

$$F_{k1} = 0,8F_k = 0,8 \cdot 71,82 = 57,46 \text{ кН};$$

$$F_{k2} = 0,2F_k = 0,2 \cdot 71,82 = 14,36 \text{ кН}.$$

Розрахункове навантаження від ваги стін та віконних рам із застосуванням відповідно у нижній та верхній частинах:

$$F_{cm2} = g_{cm} (H_g - H_{p\phi2}) \cdot \gamma_{fm,cm} \cdot B \cdot \gamma_n;$$

$$F_{cm1} = [g_{cm} (H_n - H_{p\phi1}) \cdot \gamma_{fm,cm} + g_{ep} (H_{p\phi2} - H_n) \cdot \gamma_{fm,ep}] \cdot B \cdot \gamma_n.$$

Відповідно до схеми компонування поперечної рами, (рис. 4.18) визначаємо:

$$H_{p\phi1} = 8,4 \text{ м}; H_{p\phi2} = 15,0 \text{ м}; H_n = 12,0 \text{ м}; H_g = 19,8 \text{ м}.$$

де g_{cm}, g_{ep} - характеристичне значення від власної ваги відповідно стін $g_{cm} = 2 \text{ кН} / \text{м}^2$ і віконних рам із застосуванням $g_{ep} = 0,35 \text{ кН} / \text{м}^2$;

$\gamma_{fm,cm}, \gamma_{fm,ep}$ - коефіцієнт надійності за граничним значенням навантаження від власної ваги стіни і віконних рам із застосуванням (відповідно 1,2 та 1,1).

$$F_{cm1} = [2 \cdot (12,0 - 8,4) \cdot 1,2 + 0,35 \cdot (15,0 - 12,0) \cdot 1,1] \cdot 12 \cdot 0,95 = 111,66 \text{ кН};$$

$$F_{cm2} = 2 \cdot (19,8 - 15,0) \cdot 1,2 \cdot 12 \cdot 0,95 = 131,33 \text{ кН}.$$

Граничне сумарне навантаження на нижню та верхню частини колони від власної ваги колони і стінового огородження:

$$F_1 = F_{k1} + F_{cm1} = 57,46 + 111,66 = 169,12 \text{ кН};$$

$$F_2 = F_{k2} + F_{cm2} = 14,36 + 131,33 = 145,69 \text{ кН}.$$

Визначаємо момент у рівні сполучення верхньої і нижньої частини колони (рис. 4.19):

$$M = (F_{\phi.n.} + F_2) \cdot e_0 = (198,72 + 145,69) \cdot 0,25 = 86,1 \text{ кНм},$$

де $e_0 = 0,5(h_1 - h_2) = 0,5(1 - 0,5) = 0,25 \text{ м}$; навантаження на нижню частину колони передається з ексцентриситетом e_0 .

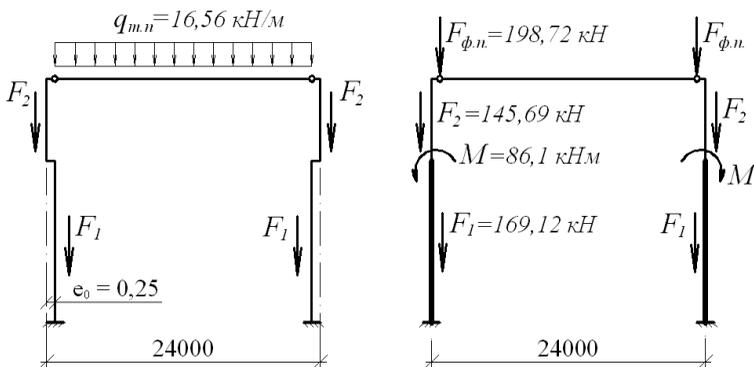


Рис.4.19. Схема постійного навантаження

Снігове навантаження

При статичному розрахунку за розрахунковими схемами з умовним суцільним ригелем (рис. 4.20) навантаження від снігу, як і від власної ваги, приймають рівномірно розподіленим по довжині прольоту і визначають за формулою:

$$S_{m,s} = \gamma_{fm} S_0 C = 1,04 \cdot 1,34 \cdot 1 = 1,39 \text{ кН / м}^2;$$

де γ_{fm} – коефіцієнт надійності за граничним значенням снігового навантаження. Приймаємо $\gamma_{fm} = 1,04$; $T = 60$ років; за додатком В, ДБН В.1.2-2:2006 [5]; S_0 – характеристичне значення снігового навантаження (в Па), що визначається згідно [5]; $S_0 = 1,34 \text{ кПа}$.

C – коефіцієнт, що визначається за формулою:

$$C = \mu \cdot C_e \cdot C_{alt} = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1;$$

де μ – коефіцієнт переходу від ваги снігового покриву на поверхні ґрунту до снігового навантаження на покрівлю, який дорівнює $\mu = 1$ при $\alpha \leq 25^\circ$; C_e – коефіцієнт, що враховує режим експлуатації покрівлі. $C_e = 1$; C_{alt} – коефіцієнт географічної висоти, що визначається за формулами:

$$C_{alt} = 1,4H + 0,3 \text{ (при } H \geq 0,5 \text{ км); } C_{alt} = 1 \text{ (при } H < 0,5 \text{ км).}$$

Розрахункове рівномірно розподілене навантаження на ригель з урахуванням $\gamma_n = 0,95$:

$$q_s = S_{ms} \cdot B \cdot \gamma_n = 1,39 \cdot 12 \cdot 0,95 = 15,88 \text{ кН/м.}$$

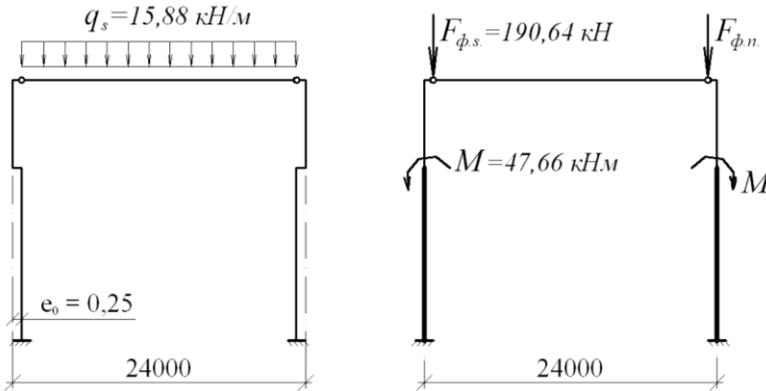


Рис. 4.20. Схема снігового навантаження

Тиск на колону від снігового навантаження:

$$F_{\phi,s} = \square q_s / 2 = 15,88 \cdot 24 / 2 = 190,64 \text{ кН.}$$

Зосереджений момент через зміщення осей верхньої та нижньої частин:

$$M_{\phi,s} = F_{\phi,s} \cdot e_0 = 190,64 \cdot 0,25 = 47,66 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Вітрове навантаження

Характеристичне значення вітрового тиску для Дніпропетровська $W_0 = 470 \text{ Па} = 0,47 \text{ кН/м}$. Тип місцевості III

(промислова зона). Аеродинамічні коефіцієнти C_{aer} прийняті за додатком I, [5] залежно від форми споруди або конструктивного елемента і показані на рис. 4.21. Активний натиск вітру прийнятий з коефіцієнтом $C_e = +0,8$, а від'ємний при значеннях $b/l > 2$ та $h_1/l = 22,2/24 = 0,925$ дорівнює $C_{e3} = -0,585$.

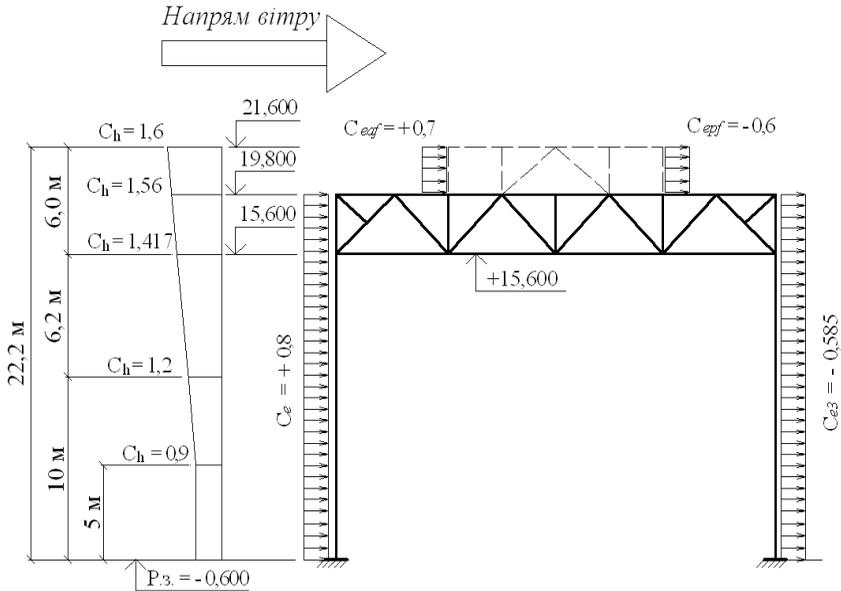


Рис. 4.21. Схема розподілу вітрового навантаження по висоті рами

Коефіцієнт C визначається за формулою для активного та пасивного навантаження:

$$C_a = C_{aer} C_h C_{alt} C_{rel} C_{dir} C_d = 0,8 \cdot 1,417 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9 = 1,02;$$

$$C_p = 0,585 \cdot 1,417 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,746;$$

де C_{aer} - аеродинамічний коефіцієнт, змінна величина; C_h - коефіцієнт висоти споруди, $C_h = 1,417$ відповідає висотній позначці $H = 15,6 + 0,6 = 16,2$ м; C_{alt} - коефіцієнт географічної висоти, $C_{alt} = 1$; C_{rel} - коефіцієнт рельєфу; $C_{rel} = 1$; C_{dir} - коефіцієнт напрямку; $C_{dir} = 1$; C_d - коефіцієнт динамічності. $C_d = 0,9$.

Граничне розрахункове значення вітрового навантаження W_m визначаємо за формулою (9.1), [5]:

$$W_{ma} = \gamma_{fm} \cdot W_0 \cdot C = 1,04 \cdot 0,47 \cdot 1,02 = 0,499 \text{ кН/м}^2;$$

$$W_{mp} = 1,04 \cdot 0,47 \cdot 0,746 = 0,365 \text{ кН/м}^2$$

де γ_{fm} – коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим значенням вітрового навантаження (на 60 років – $\gamma_{fm} = 1,04$).

Знаходимо значення граничного розрахункового розподіленого вітрового навантаження на позначці $H = 16,2 \text{ м}$;

- активне: $q_{wa} = \gamma_n \cdot W_{ma} \cdot B = 0,95 \cdot 0,499 \cdot 12 = 5,69 \text{ кН/м}$;

- пасивне: $q_{wp} = 0,95 \cdot 0,365 \cdot 12 = 4,16 \text{ кН/м}$.

Аналогічно знаходимо значення граничного розрахункового розподіленого навантаження на інших позначках (рис. 4.22).

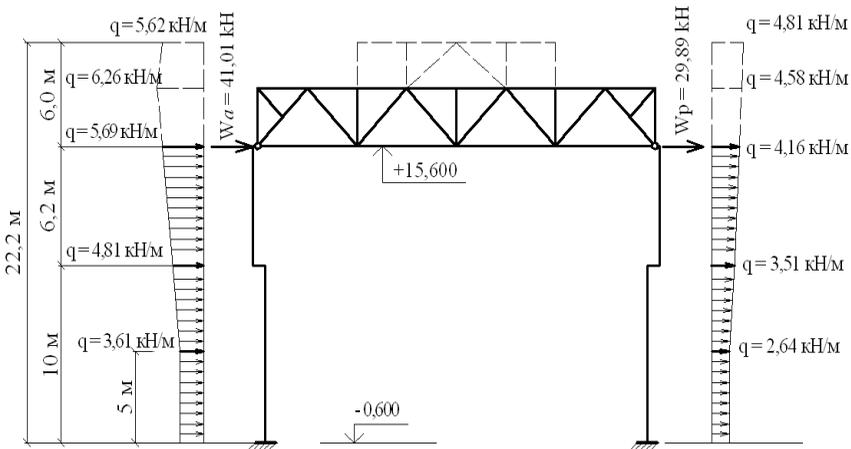


Рис. 4.22. Схема вітрового навантаження для комп'ютерних розрахунків

Вітрове навантаження, що діє вище нижнього поясу ферми до найбільш високої точки ліхтаря, прикладаємо до поперечної рами на рівні ригеля рами у вигляді сили від активного тиску і сили від підсосу. Сила від активного тиску обчислюється за формулою:

$$W_a = W_0 \cdot \left(H_c \cdot C_{ea} \cdot \frac{C_{h=19,8} + C_{h=15,6}}{2} + H_f \cdot C_{eaf} \cdot \frac{C_{h=21,6} + C_{h=19,8}}{2} \right) \cdot B \cdot \gamma_{fm} \cdot \gamma_n =$$

$$= 0,47 \cdot \left(4,2 \cdot 0,8 \cdot \frac{1,56+1,417}{2} + 1,8 \cdot 0,7 \cdot \frac{1,60+1,56}{2} \right) \cdot 12 \cdot 1,04 \cdot 0,95 = 41,01 \text{ кН} ;$$

де $H_c = 19,8 - 15,6 = 4,2 \text{ м}$; $H_f = 21,6 - 19,8 = 1,8 \text{ м}$;

$$W_p = W_0 \cdot \left(H_c \cdot C_{e3} \cdot \frac{C_{h=19,8} + C_{h=15,6}}{2} + H_f \cdot C_{epf} \cdot \frac{C_{h=21,6} + C_{h=19,8}}{2} \right) \cdot B \cdot \gamma_{fm} \cdot \gamma_n =$$

$$= 0,47 \cdot \left(4,2 \cdot 0,585 \cdot \frac{1,56+1,417}{2} + 1,8 \cdot 0,6 \cdot \frac{1,60+1,56}{2} \right) \cdot 12 \cdot 1,04 \cdot 0,95 = 29,89 \text{ кН} ;$$

Вітрове навантаження збільшується із збільшенням висоти, але для спрощення розрахунку його замінюють еквівалентним, інтенсивність якого визначається з умови, що згинальний момент в опорному перерізі стояка рами у двох розглянутих схемах навантаження (рис. 4.22, 4.23) залишається однаковим.

Момент від активного вітрового навантаження:

$$M_a = 3,61 \cdot 16,2 \cdot \frac{16,2}{2} + (5,69 - 3,61) \cdot \left(\frac{16,2 - 5,0}{2} \right) \cdot (16,2 - 5,0) = 604,16 \text{ кНм} ;$$

Знаходимо еквівалентне значення граничного розрахункового рівномірно розподіленого активного вітрового навантаження:

$$q_{w a \text{ ека}} = \frac{2M_a}{H^2} = \frac{2 \cdot 604,16}{16,2^2} = 4,60 \text{ кН / м}.$$

Момент від пасивного вітрового навантаження:

$$M_p = 2,64 \cdot \frac{16,2^2}{2} + (4,16 - 2,64) \cdot \frac{11,2^2}{2} = 441,76 \text{ кНм} .$$

Визначаємо еквівалентне значення граничного розрахункового рівномірно розподіленого пасивного вітрового навантаження:

$$q_{w p \text{ ека}} = \frac{2M_p}{H^2} = \frac{2 \cdot 441,76}{16,2^2} = 3,37 \text{ кН / м}.$$

Отримані значення вітрового навантаження наведені на рис. 4.23.

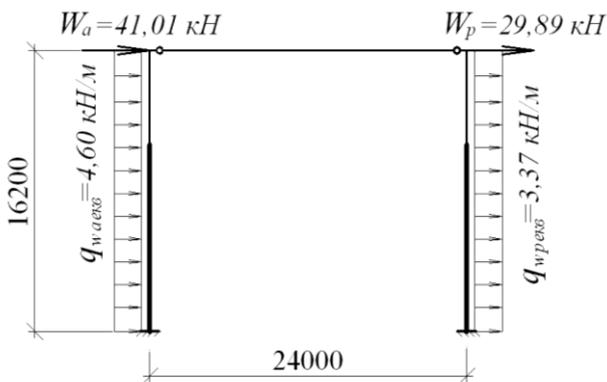


Рис. 4.23. Схема вітрового еквівалентного навантаження для спрощення розрахунків

Кранове навантаження

Кранове навантаження на поперечну раму виникає від вертикального тиску коліс кранів і дії горизонтальних бічних сил. Для зручності розрахунку навантаження від ваги підкранових конструкцій включають в кранове навантаження.

Максимальне граничне розрахункове вертикальне навантаження при кранах однакової вантажності визначається за формулою:

$$F_{\max} = (\gamma_{fm} \cdot \psi \cdot F_0 \cdot \sum Y_i + \gamma_{fm,g} \cdot G_{нб}) \cdot \gamma_n,$$

де γ_{fm} - коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим крановим навантаженням, який залежить від заданого середнього періоду повторюваності. Для періоду $T = 50$ років – $\gamma_{fm} = 1,1$; ψ - коефіцієнт сполучення кранових навантажень, що дорівнює 0,85 при двох кранах для кранів режимних груп 1К – 6К; F_0 - максимальний вертикальний тиск колеса крана; $\sum Y_i$ - сума ординат лінії впливу реакцій підкранових балок при несприятливому розташуванні кранів; $G_{нб}$ - вага підкранової конструкції, яку можна визначити за формулою:

$$G_{нб} = q_{нб} \cdot B,$$

де $q_{n\bar{o}}$ - вага підкранової конструкції, яка при прольоті 12 м для кранів вантажністю $Q = 30 - 80$ т дорівнює 5 кН/м.

Обчислюємо ординати лінії впливу тиску на колону при невігідному встановленні кранів на підкранових балках. Схема встановлення зближених кранів на лінію впливу наведена на рис. 4.24.

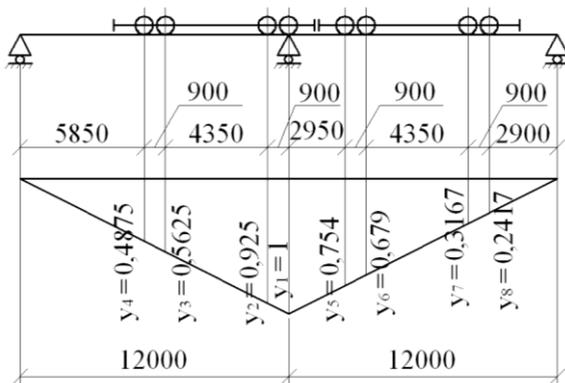


Рис. 4.24. Схема встановлення коліс кранів на лінії впливу

Визначаємо суму ординат:

$$y_1 = 1; y_2 = 0,925; y_3 = 0,5625; y_4 = 0,4875; y_5 = 0,754; y_6 = 0,679; y_7 = 0,3167; y_8 = 0,2417; \Sigma y = 4,9664.$$

Характеристичне значення навантаження від ваги підкранової балки і тиску колеса крана: $q_{n\bar{o}} = 5 \text{ кН/м}; G_{n\bar{o}} = 5 \cdot 12 = 60 \text{ кН}$ та $F_0 = 0,5(350+370) = 360 \text{ кН}$ (де $F_{k1} = 350 \text{ кН}; F_{k2} = 370 \text{ кН}$).

Максимальне граничне розрахункове вертикальне кранове навантаження:

$$F_{\max} = (1,1 \cdot 0,85 \cdot 360 \cdot 4,9664 + 1,05 \cdot 60) \cdot 0,95 = 1647,96 \text{ кН}.$$

На другому ряді колон колесом крана передається вертикальна сила, яка за формулою:

$$F_0' = \frac{(Q + G_k)}{n_0} - F_0 = \frac{(80 \cdot 9,81 + 1100)}{4} - 360 = 111,2 \text{ кН},$$

де G_k - вага крана з візком, $G_k = 1100 \text{ кН}$, n_0 - кількість коліс з одного боку крана.

Мінімальне граничне розрахункове вертикальне кранове навантаження на другому ряді колон за формулою:

$$F_{\min} = (\gamma_{fm} \cdot \psi \cdot F_0' \cdot \sum Y_i + \gamma_{fm,g} \cdot G_{n\bar{o}}) \cdot \gamma_n = (1,1 \cdot 0,85 \cdot 111,2 \cdot 4,9664 + 1,05 \cdot 60) \cdot 0,95 = 550,40 \text{ кН}.$$

Для випадку симетричного перерізу ексцентриситет кранового навантаження:

$$e_2 = \frac{h_H}{2} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ мм} = 0,5 \text{ м}.$$

Згинальні моменти в місці виступу колони від вертикального кранового навантаження за формулами:

$$M_{\max} = F_{\max} \cdot e_2 = 1647,96 \cdot 0,5 = 823,96 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{\min} = F_{\min} \cdot e_2 = 550,40 \cdot 0,5 = 275,20 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Горизонтальне кранове навантаження від багатоколісних кранів визначається від двох кранів. Характеристичне значення бічної сили, прикладеної до колеса таких кранів з гнучким підвісом визначається за формулою:

$$H_k = 0,1 \cdot \frac{Q \cdot 9,81 + G_k}{n} = 0,1 \cdot \frac{80 \cdot 9,81 + 1100}{8} = 23,56 \text{ кН},$$

де Q – вантажність крана; G_k – вага крана; n – загальна кількість коліс крана.

$$\text{На другій стороні: } 0,5H_k = 0,5 \cdot 23,56 = 11,78 \text{ кН}.$$

На одній стороні кранової колії сила H_k прикладається до кожного колеса, а на другій стороні колії до кожного колеса прикладається сила, яка дорівнює $0,5H_k$. На кожній стороні крана бічні сили мають один напрямок - назовні або всередину прольоту, на різних сторонах колії вони спрямовані у протилежні боки (обидві всередину або обидві назовні). Сила, яка спрямована всередину прольоту – додатна (викликає додатний згинальний момент в місці прикладення сили), назовні – від’ємна (рис. 4.25).

Бічні сили, що діють на колони поперечної рами на одному та другому ряді колон обчислюємо за формулами:

$$H_{\max} = \pm \gamma_{fm} \psi H_k \sum Y_i \gamma_n = \pm 1,1 \cdot 0,85 \cdot 23,56 \cdot 4,9664 \cdot 0,95 = \pm 103,93 \text{ кН};$$

$$H_{\min} = \pm 0,5H_{\max} = \pm 0,5 \cdot 103,93 = \pm 51,97 \text{ кН}.$$

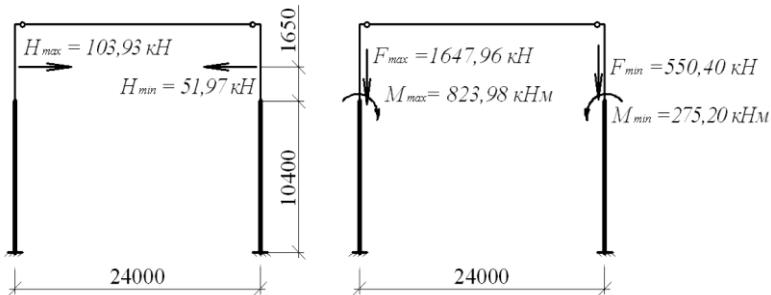


Рис. 4.25. Схема кранового навантаження на раму

4.2.3. Складання розрахункової схеми і визначення зусиль в перерізах поперечної рами

Для розрахунку поперечної рами каркасу будівлі її конструктивну схему треба апроксимувати розрахунковою схемою так, щоб вона якомога більше відповідала конструктивній. У даному прикладі статичний розрахунок поперечної рами виконується за формулами додатку Д.3.2 [1]. Виходячи із орієнтовних жорсткісних характеристик та позначень на рис. 4.26, обчислимо допоміжні параметри та коефіцієнт розрахункової схеми:

$$\eta = \frac{l_2}{l_c} = \frac{5800}{16200} = 0,358.$$

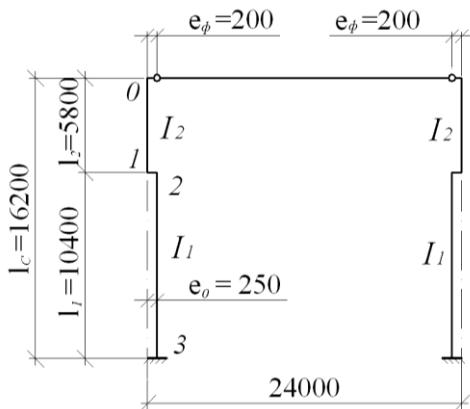


Рис. 4.26. Розрахункова схеми поперечної рами будівлі

Однопрольотна рама з шарнірним з'єднанням ригеля зі стояками є один раз статично невизначена система. Для її розрахунку треба задати співвідношення моментів інерції перерізів колони. Відхилення фактичного співвідношення від попередньо взятого до 30% мало впливає на величину зусиль в елементах рами, тому перерахунок в цьому випадку можна не виконувати. Характерними перерізами в поперечній рамі з шарнірним сполученням ригеля із стояками є: переріз 0 – 0 по верху колони; переріз 1–1 по низу надкранової частини; переріз 2–2 по верху підкранової частини; переріз 3–3 по низу підкранової частини (рис. 4.9). При розрахунках треба враховувати знаки зусиль. Знаки згинальних моментів: момент, який викликає розтягувальне напруження у внутрішньому волокні рами, береться зі знаком «+», а стискувальне напруження зі знаком «-». Треба визначити зусилля M , N і Q в цих перерізах від всіх навантажень при різних можливих варіантах їх дії. Бічні сили в даній роботі можна прикладати на рівні перерізу 1-1, для спрощення розрахунку, що суттєво не вплине на величину розрахункових сил.

Наближене значення співвідношення жорсткостей підкранової та надкранової частини колони для двошарнірної рами можна визначити за формулою [1]:

$$n = \frac{I_1}{I_2} \approx \left(\frac{h_H}{h_B} \right)^2 \cdot k = \left(\frac{1,0}{0,5} \right)^2 \cdot 1,9 = 7,6; \quad \text{де } k = 1,8 \dots 2,0.$$

Визначаємо допоміжні коефіцієнти [1]:

$$\alpha_2 = \frac{(n-1)\eta^2 + 1}{n} = \frac{(7,6-1) \cdot 0,358^2 + 1}{7,6} = 0,2429;$$

$$\alpha_3 = \frac{(n-1)\eta^3 + 1}{n} = \frac{(7,6-1) \cdot 0,358^3 + 1}{7,6} = 0,1714;$$

$$\alpha_4 = \frac{(n-1)\eta^4 + 1}{n} = \frac{(7,6-1) \cdot 0,358^4 + 1}{7,6} = 0,1458.$$

Навантаження від власної ваги конструкцій:

$$X = -\frac{F_{\phi,n}}{H} \cdot \frac{3}{2\alpha_3} \cdot [e_{\phi} \cdot \alpha_2 - e_0 (\alpha_2 - \eta^2)] = -\frac{198,72}{16,2} \cdot \frac{3}{2 \cdot 0,1714} \times \\ \times [0,2 \cdot 0,2429 - 0,25 \cdot (0,2429 - 0,358^2)] = -2,136 \text{ кН};$$

Зусилля від постійних навантажень:

$$M_0 = -198,72 \cdot 0,2 = -39,74 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_1 = 2,136 \cdot 5,8 - 39,74 = -27,36 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = -27,36 + (198,72 + 145,69) \cdot 0,25 = 58,74 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_3 = 2,136 \cdot 16,2 - 39,74 + (198,72 + 145,69) \cdot 0,25 = 80,97 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$N_0 = -198,72 \text{ кН};$$

$$N_1 = N_2 = -198,72 - 145,69 = -344,41 \text{ кН};$$

$$N_3 = -344,41 - 169,12 = -513,53 \text{ кН};$$

$$Q_0 = -2,136 \text{ кН}; \quad Q_1 = Q_2 = Q_3 = -2,136 \text{ кН}.$$

Снігове навантаження:

$$X = -\frac{F_{\phi,с}}{H} \cdot \frac{3}{2\alpha_3} \cdot [e_{\phi} \cdot \alpha_2 - e_0 \cdot (\alpha_2 - \eta^2)] = -\frac{190,64}{16,2} \cdot \frac{3}{2 \cdot 0,1714} \times \\ \times [0,2 \cdot 0,2429 - 0,25 \cdot (0,2429 - 0,358^2)] = -2,05 \text{ кН};$$

Зусилля від снігового навантаження:

$$M_0 = -190,64 \cdot 0,2 = -38,13 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_1 = 2,05 \cdot 5,8 - 38,13 = -26,24 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = -26,24 + 190,64 \cdot 0,25 = 21,42 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_3 = 2,05 \cdot 16,2 - 38,13 + 190,64 \cdot 0,25 = 42,74 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$N = -190,64 \text{ кН};$$

$$Q = -2,05 \text{ кН}.$$

Вертикальне кранове навантаження:

$$\varepsilon_1 = \frac{M_{\min}}{M_{\max}} = \frac{275,20}{823,98} = 0,334;$$

$$X = -\frac{M_{\max}}{H} \cdot \frac{3(\alpha_2 - \eta^2)}{4\alpha_3} (1 + \varepsilon_1) = -\frac{823,98}{16,2} \cdot \frac{3 \cdot (0,2429 - 0,358^2)}{4 \cdot 0,1714} \cdot (1 + 0,334) = \\ = -34,06 \text{ кН};$$

Зусилля при F_{\max} на лівій колоні:

$$M_1 = 34,06 \cdot 5,80 = 197,55 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = 197,55 - 823,98 = -626,43 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_3 = 34,06 \cdot 16,2 - 823,98 = -272,21 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$N_0 = N_1 = 0; \quad N_2 = N_3 = -1647,96 \text{ кН};$$

$$Q = -34,06 \text{ кН}.$$

Зусилля при F_{\max} на правій колоні:

$$M_1 = 34,06 \cdot 5,80 = 197,55 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_2 = 197,55 - 275,20 = -77,65 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_3 = 34,06 \cdot 16,2 - 275,20 = -276,57 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$N_0 = N_1 = 0; \quad N_2 = N_3 = -550,40 \text{ кН};$$

$$Q = -34,06 \text{ кН}.$$

Горизонтальне кранове навантаження:

$$\psi = \frac{l_2 - h_{n.б.}}{H} = \frac{5,80 - 1,65}{16,20} = 0,256.$$

Навантаження в подальшому розрахунки будуть враховуватися зі знаками « \pm », епюри побудовані лише для напрямку навантаження, показаного на рис. 4.8.

$$X = -\frac{(H_{\max} - H_{\min})}{2} \left[1 - \frac{\psi}{2\alpha_3} (3\alpha_2 - \psi^2) \right] = -\frac{103,93 - (-51,97)}{2} \times \\ \times \left[1 - \frac{0,256}{2 \cdot 0,1714} \cdot (3 \cdot 0,2429 - 0,256^2) \right] = -39,35 \text{ кН}.$$

Зусилля при H_{\max} на лівій колоні:

$$M_H = 39,35 \cdot (5,8 - 1,65) = 163,30 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_1 = 39,35 \cdot 5,8 - 103,93 \cdot 1,65 = 56,75 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_2 = M_1 = 56,75 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_3 = 39,35 \cdot 16,2 - 103,93 \cdot (10,4 + 1,65) = -614,89 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$N = 0;$$

$$Q_{0-H} = -39,35 \text{ кН};$$

$$Q_{H-3} = -39,35 + 103,93 = 64,58 \text{ кН}.$$

Зусилля при H_{\min} на правій колоні:

$$M_H = -39,35 \cdot (5,8 - 1,65) = -163,30 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_1 = M_2 = -39,35 \cdot 5,8 + 51,97 \cdot 1,65 = -142,48 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_3 = -39,35 \cdot 16,2 + 51,97 \cdot (10,4 + 1,65) = -11,23 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$N = 0;$$

$$Q_{0-H} = 39,35 \text{ кН};$$

$$Q_{0-3} = 39,35 - 51,97 = -12,62 \text{ кН}.$$

Вітрове навантаження:

$$\varepsilon_2 = \frac{q_{вр\ экв}}{q_{ва\ экв}} = \frac{3,37}{4,60} = 0,7326;$$

$$X_q = -q_{ва\ экв} H \frac{3}{16} \frac{\alpha_4}{\alpha_3} (1 - \varepsilon_2) = -4,60 \cdot 16,2 \frac{3 \cdot 0,1458 \cdot (1 - 0,7326)}{16 \cdot 0,1714} = -3,178 \text{ кН};$$

$$\varepsilon_3 = \frac{W_p}{W_a} = \frac{29,89}{41,01} = 0,729;$$

$$X_w = -\frac{W_a}{2} (1 - \varepsilon_3) = -\frac{41,01}{2} (1 - 0,729) = -5,557 \text{ кН};$$

$$X = X_q + X_w = -3,178 - 5,557 = -8,735 \text{ кН}.$$

Зусилля на лівій колоні:

$$M_1 = M_2 = (8,735 - 41,01) \cdot 5,8 - 4,60 \cdot \frac{5,80^2}{2} = -264,57 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_3 = (8,735 - 41,01) \cdot 16,2 - 4,60 \cdot \frac{16,20^2}{2} = -1126,47 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$Q_0 = -8,735 + 41,01 = 32,275 \text{ кН};$$

$$Q_3 = 32,275 + 4,60 \cdot 16,20 = 106,795 \text{ кН}.$$

Зусилля на правій колоні:

$$M_1 = M_2 = (8,735 + 29,89) \cdot 5,8 + 3,37 \cdot \frac{5,80^2}{2} = 280,71 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_3 = (8,735 + 29,89) \cdot 16,2 + 3,37 \cdot \frac{16,20^2}{2} = 1067,94 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$Q_0 = 8,735 + 29,89 = 38,625 \text{ кН};$$

$$Q_3 = 38,625 + 3,37 \cdot 16,2 = 93,220 \text{ кН}.$$

За отриманими результатами розрахунку побудовані епюри M , N і Q , що наведені на рис. 4.27, та їх значення зведені в таблицю розрахункових сполучень зусиль (табл. 4.6) у перерізах лівої колони рами, причому перерізу 1–1 відповідає перерізу над уступом ступінчастої колони, 2–2 – переріз під уступом, 3–3 – переріз у рівні сполучення колони з фундаментом.

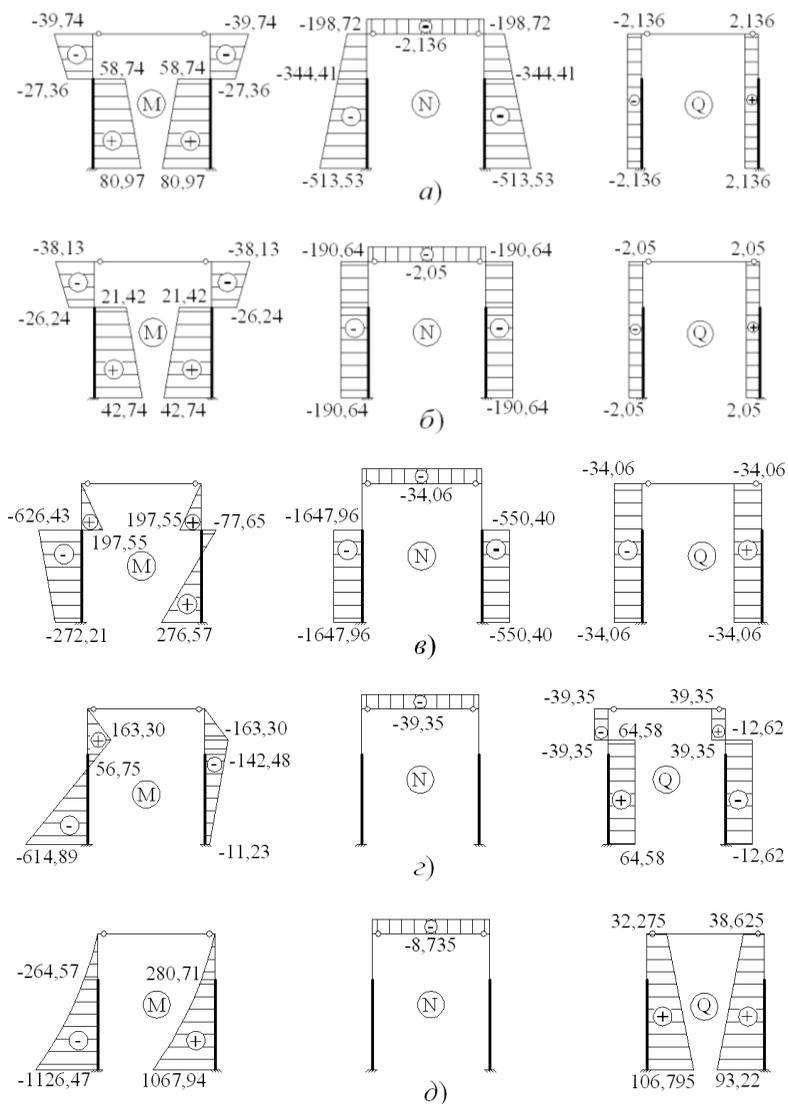


Рис. 4.27. Епюри зусиль від навантажень:

a – постійного; *б* – снігового; *в* – вертикального кранового;
z – кранового гальмівного; *д* – вітрового

Таблиця 4.6

Розрахункові сполучення зусиль у перерізах лівої колони рами від діючих навантажень
 M , кН·м; N та Q , кН.

№	Навантаження, сполучення	ψ	Переріз 1–1		Переріз 2–2		Переріз 3–3		
			M	N	M	N	M	N	Q
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Постійне		-27,36	-344,41	+58,74	-344,41	+80,97	-513,53	-2,14
2	Снігове		-26,24	-190,64	+21,42	-190,64	+42,74	-190,64	-2,05
3	D_{\max} зліва		+197,55	0	-626,43	-1647,96	-272,21	-1647,96	-34,06
4	D_{\max} справа		+197,55	0	-77,65	-550,40	+276,57	-550,40	+34,06
5	$\pm H_{\max}$ зліва		$\pm 56,75$	0	$\pm 56,75$	0	$\pm 614,89$	0	$\pm 64,58$
6	$\pm H_{\max}$ справа		$\pm 142,48$	0	$\pm 142,48$	0	$\pm 11,23$	0	$\pm 12,62$
7	Вітрове зліва		-264,57	0	-264,57	0	-1126,47	0	+106,80
8	Вітрове справа		+280,71	0	+280,71	0	+1067,94	0	+93,22
	$+M_{\max}$ $N_{\text{відп.}}$	№	1+8		1+8		1+8		
		1	+253,35	-344,41	+339,45	-344,41	+1148,91	-513,53	
		№	1+0,9(4+6+8)		1+0,9(2+8)		1+0,9(2+4+5+8)		
		0,9	+531,31	-344,41	+330,66	-515,99	+1882,90	-1180,47	

4.2.4. Розрахунок та конструювання колони каркасу

Визначення розрахункових довжин.

Розрахункові довжини для надкранової та підкранової ділянок колон визначаємо за формулами:

$$l_{ef2} = \mu_2 \cdot l_2, \quad l_{ef1} = \mu_1 \cdot l_1, \quad \text{де } l_2 = 5,80 \text{ м і } l_1 = 10,40 \text{ м.}$$

При найбільшій поздовжній силі в підкрановій частині (табл. 4.6) $N_1 = -2168,27 \text{ кН}$ та відповідно до цієї комбінації поздовжній силі в надкрановій частині $N_2 = -515,99 \text{ кН}$ визначаємо співвідношення завантажених частин за формулою:

$$\beta = \frac{N_1}{N_2} = \frac{2168,27}{515,99} = 4,20.$$

Колона однопрольотної рами при шарнірному спряженні з ригелем вважається такою, що має верхній кінець вільний від усіяких закріплень.

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{5,80}{10,40} = 0,558 < 0,6 \quad \text{і} \quad \beta = 4,20 > 3, \quad \text{а також} \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{7,6} = 0,13.$$

За табл. 18, СНиП II-23-81* [2] маємо $\mu_1 = 2,5$; і $\mu_2 = 3,0$.

Для більш точного визначення коефіцієнтів μ_1 і μ_2 необхідно обчислити допоміжні коефіцієнти α_1 та n при співвідношенні жорсткостей ділянок колони $\frac{I_1}{I_2} = 7,6$:

$$n = \frac{I_2 \cdot l_1}{I_1 \cdot l_2} = \frac{10,40}{7,6 \cdot 5,80} = 0,236; \quad \alpha_1 = \frac{l_2}{l_1} \cdot \sqrt{\frac{I_1}{I_2 \cdot \beta}} = \frac{5,80}{10,40} \sqrt{\frac{7,6}{4,2}} = 0,75.$$

$$\text{За табл. 67, [2]} \quad \mu_1 = 2,355; \quad \mu_2 = \frac{\mu_1}{\alpha_1} = \frac{2,355}{0,75} = 3,14 > 3.$$

Остаточно приймаємо $\mu_1 = 2,355$; і $\mu_2 = 3,0$, деяка розбіжність у значеннях не справляє істотного впливу на подальший розрахунок.

Таким чином, розрахункові довжини в площині рами становлять:

$$l_{ef2} = \mu_2 \cdot l_2 = 3,0 \cdot 5,80 = 17,40 \text{ м};$$

$$l_{ef1} = \mu_1 \cdot l_1 = 2,355 \cdot 10,40 = 24,49 \text{ м.}$$

Розрахункові довжини із площини рами приймаємо рівними геометричним відстаням між точками закріплення колони в'язями:

$$l_{ef,y1} = l_1 = 10,40 \text{ м}; \quad l_{ef,y2} = l_2 - h_b = 5,80 - 1,65 = 4,15 \text{ м}.$$

Розрахунок надкранової частини колони.

Надкранову частину колони приймаємо у вигляді симетричного складеного двотавра з висотою перерізу 500 мм.

Максимальні розрахункові зусилля для перерізу 1-1 визначаємо за табл. 4.6 розрахункових сполучень зусиль:

$$N = -515,99 \text{ кН},$$

$$M = 507,69 \text{ кНм}.$$

Для визначення необхідної площі перерізу за формулою:

$$A_{cal} = \frac{N}{\varphi_e \cdot R_y \cdot \gamma_c}, \text{ потрібно обчислити такі величини:}$$

– радіус інерції: $i_x \approx 0,42 \cdot h_2 = 0,42 \cdot 50 = 21 \text{ см};$

– ядрова відстань: $\rho_x = \frac{W_x}{A} \approx 0,35h_2 = 0,35 \cdot 50 = 17,5 \text{ см};$

– умовна гнучкість:

$$\bar{\lambda}_x = \lambda_x \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{l_{ef2}}{i_x} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{1740}{21} \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 2,83;$$

– відносний ексцентриситет:

$$m = e \cdot \frac{A}{W_x} = \frac{M}{N} \cdot \frac{1}{\rho_x} = \frac{507,69 \cdot 10^2}{515,99} \cdot \frac{1}{17,5} = 5,62;$$

– коефіцієнт впливу форми перерізу за табл. 73, [2] при $0 \leq \bar{\lambda} \leq 5$

та $\frac{A_f}{A_w} = 0,5$ буде $\eta = 1,25;$

– зведений відносний ексцентриситет $m_{ef} = m \cdot \eta = 5,62 \cdot 1,25 = 7,03;$

$$m_{ef} = 7,03 < 20;$$

– коефіцієнт φ_e знаходимо за табл. 74, [2] при $\bar{\lambda}_x = 2,83$ та $m_{ef} = 7,03;$ $\varphi_e = 0,14989.$

Необхідна площа перерізу становить:

$$A_{cal} = \frac{N}{\varphi_e \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{515,99}{0,14989 \cdot 24} = 143,4 \text{ см}^2;$$

де $\gamma_c \cdot R_y = 1,0 \cdot 240 \text{ МПа} = 24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$.

Приймаємо попередньо товщину полиць 12 мм, тоді висота стінки буде: $h_w = 50 - 2 \cdot 1,2 = 47,6 \text{ см}$.

Для забезпечення місцевої стійкості стінки її умовна гнучкість не повинна перевищувати граничних значень $\bar{\lambda}_{uw}$, що визначається за табл. 27, [2]:

При $m = 5,62 > 1,0$ і $\bar{\lambda}_1 = \bar{\lambda}_x = 2,83 > 2$:

$$\bar{\lambda}_{uw} = 1,2 + 0,35 \cdot \bar{\lambda}_1 = 1,2 + 0,35 \cdot 2,83 = 2,191.$$

Тоді мінімально необхідна товщина стінки за умови забезпечення місцевої стійкості становитиме:

$$t_w = \frac{h_w}{\bar{\lambda}_{uw}} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{47,6}{2,191} \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 0,742 \text{ см}.$$

Приймаємо за сортаментом стінку товщиною $t_w = 10 \text{ мм}$. Площа стінки буде $A_w = t_w \cdot h_w = 1 \cdot 47,6 = 47,6 \text{ см}^2$,

а необхідна площа полиці:

$$A_f = 0,5 \cdot (A - A_w) = 0,5 \cdot (143,4 - 47,6) = 42,86 \text{ см}^2.$$

Для забезпечення місцевої стійкості полиці необхідне відношення ширини звису до товщини становить:

$$\frac{b_{ef}}{t_f} \leq (0,36 + 0,1 \bar{\lambda}_x) \sqrt{\frac{E}{R_y}} = (0,36 + 0,1 \cdot 2,83) \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^5}{240}} = 18,84.$$

Зважаючи на те, що $A_f \approx 2b_{ef}t_f$, товщина полиці буде:

$$t_f = \sqrt{\frac{A_f}{2 \cdot (0,36 + 0,1 \cdot \bar{\lambda}_x) \cdot \sqrt{E/R_y}}} = \sqrt{\frac{42,86}{2 \cdot 18,84}} = 1,07 \text{ см}.$$

Полиці і стінку приймаємо із широкополосної універсальної сталі (ГОСТ 82-70*): полиці з листа – $400 \times 12 \text{ мм}$, а стінку з листа – $480 \times 10 \text{ мм}$, (рис. 4.28).

Геометричні характеристики прийнятого перерізу наступні:

$$A = 1 \cdot 48 + 2 \cdot 1,2 \cdot 40 = 144,0 > A_{cal} = 143,40 \text{ см}^2.$$

$$I_x = \frac{1 \cdot 48^3}{12} + 2 \cdot 40 \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{48 + 1,2}{2} \right)^2 = 67311,36 \text{ см}^4;$$

$$I_y = 2 \cdot \frac{1,2 \cdot 40^3}{12} = 12800,0 \text{ см}^4;$$

$$W_c = W_x = \frac{I_x \cdot 2}{h_2} = \frac{67311,36 \cdot 2}{50,4} = 2671,10 \text{ см}^2;$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{67311,36}{144,0}} = 21,62 \text{ см};$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{12800}{144,0}} = 9,43 \text{ см}.$$

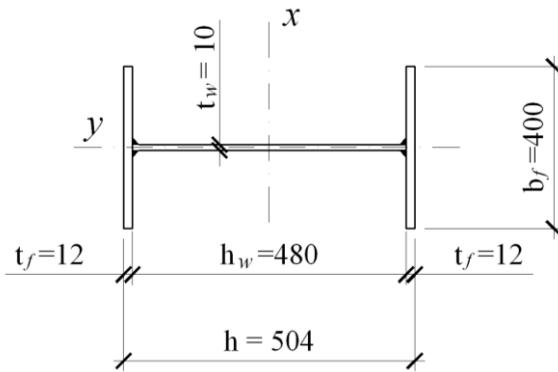


Рис. 4.28. Поперечний переріз надкранової частини колони

Для перевірки стійкості надкранової частини колони в площині дії моменту обчислюємо уточнені величини:

$$\bar{\lambda}_x = \frac{l_{ef2}}{i_x} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{1740}{21,62} \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 2,75;$$

$$m_x = \frac{M}{N} \cdot \frac{A}{W_c} = \frac{50769 \cdot 144,0}{515,99 \cdot 2671,1} = 5,30;$$

$$\frac{A_f}{A_w} = \frac{40 \cdot 1,2}{48 \cdot 1} = 1,0.$$

За табл. 73, [2] визначаємо:

– при $\frac{A_f}{A_w} \geq 1$; $m > 5$;

$$\eta = 1,4 - 0,02 \cdot \bar{\lambda}_x = 1,4 - 0,02 \cdot 2,75 = 1,345;$$

$$m_{ef} = m \cdot \eta = 5,3 \cdot 1,345 = 7,13.$$

За табл. 74, [2] приймаємо $\varphi_e = 0,151$.

Для підбраного перерізу повинні бути виконані такі перевірки:

1) Перевірка загальної стійкості надкранової частини колони в площині дії моменту:

$$\sigma = \frac{N}{A \varphi_e} = \frac{515,99}{144,0 \cdot 0,151} = 23,73 \frac{\kappa H}{\text{см}^2} = 237,3 \text{ МПа} < R_y \gamma_c = 240 \text{ МПа},$$

тобто загальна стійкість забезпечена.

2) Місцева стійкість полиці забезпечена виконанням умови:

$$\frac{b_{ef}}{t_f} \leq (0,36 + 0,1 \bar{\lambda}_x) \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}},$$

$$\frac{40,0 - 1,0}{2 \cdot 1,2} < (0,36 + 0,1 \cdot 2,75) \cdot \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^5}{240}}, \quad 16,25 < 18,60.$$

3) Перевірка загальної стійкості надкранової частини колони із площини дії моменту виконуємо за формулою (56), [2] для цього визначаємо:

$$\text{– гнучкість стержня } \lambda_y = \frac{l_{efy2}}{i_y} = \frac{415}{9,43} = 44,0;$$

– коефіцієнт поздовжнього згину за табл. 72, [2] приймаємо $\varphi_y = 0,8772$;

– відносний ексцентриситет при дії моменту M_x у межах середньої третини розрахункової довжини колони (рис. 4.29) при розрахунковій комбінації зусиль (1+2+4+6+8), (див. табл. 4.6 та епюри M на рис. 4.27, а, б):

$$M_0 = -39,74 - 0,9 \cdot 38,13 = -74,06 \text{ кНм};$$

$$M_x = 203,44 \text{ кНм} > 0,5 \cdot 342,19 = 171,10 \text{ кНм};$$

$$m_x = \frac{M_x}{N} \cdot \frac{A}{W_c} = \frac{203,44 \cdot 10^2}{515,99} \cdot \frac{144,0}{2671,1} = 2,13 < 5;$$

– коефіцієнти α і β за табл. 10, [2] при $1 < m_x \leq 5$;

$$\alpha = 0,65 + 0,05 \cdot m_x = 0,65 + 0,05 \cdot 2,13 = 0,7565;$$

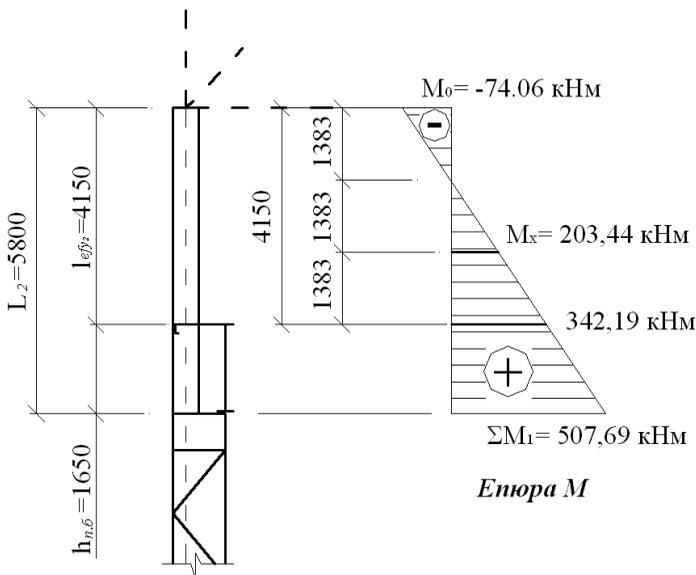


Рис. 4.29. До визначення моменту M_x

при $\lambda_y = 44,0 < \lambda_c = 3,14 \sqrt{\frac{E}{R_y}} = 3,14 \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^5}{240}} = 92$; тому $\beta = 1,0$;

– коефіцієнти c за формулою (57), [2] при $m_x \leq 5$;

$$c = \frac{\beta}{1 + \alpha m_x} = \frac{1}{1 + 0,7565 \cdot 2,13} = 0,38.$$

Перевірка стійкості із площини дії моменту:

$$\sigma = \frac{N}{c \varphi_y A} = \frac{515,99}{0,38 \cdot 0,8772 \cdot 144,0} = 10,75 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} = 107,5 \text{ МПа} < R_y \gamma_c = 240 \text{ МПа};$$

тобто, загальна стійкість надкранової частини колони із площини дії моменту забезпечена.

4) Оскільки $m_{ef} = 7,13 < 20$, перевірка міцності надкранової частини не потрібна.

5) Місцева стійкість стінки при обох формах втрати загальної стійкості забезпечена тому що :

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{48}{1} \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 1,64 < \bar{\lambda}_{uw} = 2,163.$$

$$\bar{\lambda}_{uw} = 1,2 + 0,35 \cdot \bar{\lambda}_x = 1,2 + 0,35 \cdot 2,75 = 2,163.$$

Розрахунок підкранової частини колони

Підкранову частину колони проектуємо як наскрізну, що складається із двох гілок, сполучених обрешіткою. Ширина колони $h_0 \approx h = 1M$. Поздовжні зусилля у гілках колон симетричного перерізу визначають відповідно за формулою: $N_b = \frac{N}{2} \pm \frac{M}{h_0}$.

Розрахунки виконуємо в табличній формі, (див. табл. 4.7, 4.8).

З табл. 4.8 вибираємо найбільші зусилля для найбільш несприятливого сполучення, маємо:

$$N_b = -2473,13 \text{ кН} \approx -2473 \text{ кН} \text{ – у зовнішній гілці;}$$

$$N_b = -2776,92 \text{ кН} \approx 2777 \text{ кН} \text{ – у підкрановій гілці.}$$

Оскільки найбільші розрахункові зусилля у гілках близькі за значенням, розглядаємо симетричний переріз підкранової частини із двох прокатних двотаврів.

За табл. 51* [2], розрахунковий опір сталі С245 при товщині $t = 2 \div 20$ мм становить $R_y = 240 \text{ МПа} = 24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$. Коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 1,0$. Потрібна площа перерізу гілки при орієнтовному значенні $\varphi_0 = 0,8$:

Таблиця 4.7

Розрахункові зусилля N_b у гілках підкранової частини колони при $\psi = 1,0$ (кН)

Пере-різ	Розрахункові сполучення зусиль при $\psi = 1,0$	$N/2$	Зовнішня гілка		Підкранова гілка	
			$-M/h_0$	$N/2 - M/h_0$	M/h_0	$N/2 + M/h_0$
2 – 2	$+M_{\max}=339,45$ $N_{\text{відп}}=-344,41$	-172,21	-339,45	-511,66	339,45	167,24
	$-M_{\max}=-710,17$ $N_{\text{відп}}=-1992,37$	-996,19	+710,17	-286,02	-710,17	-1706,36
	$+M_{\text{відп}}=80,16$ $N_{\max}=-535,05$	-267,53	-80,16	-347,69	80,16	-187,37
	$-M_{\text{відп}}=-710,17$ $N_{\max}=-1992,37$	-996,19	710,17	-286,02	-710,17	-1703,36
3 – 3	$+M_{\max}=1148,91$ $N_{\text{відп}}=-513,53$	-256,77	-1148,91	-1405,68	1148,91	892,14
	$-M_{\max}=-1045,50$ $N_{\text{відп}}=-513,53$	-256,77	1045,50	788,73	-1045,50	-1302,27
	$+M_{\text{відп}}=423,65$ $N_{\max}=-2161,49$	-1080,75	-423,65	-1504,4	423,65	-657,10
	$-M_{\text{відп}}=-806,13$ $N_{\max}=-2161,49$	-1080,75	806,13	-274,62	-806,13	-1886,88
	$M_{\text{відп}}=1134,34$ $N_{\min}=-421,09$	-210,55	-1134,34	-1344,89	1134,34	923,79

Таблиця 4.8

Розрахункові зусилля N_b у гілках підкранової частини колони при $\psi = 0,9$ (кН)

Пере-різ	Розрахункові сполучення зусиль при $\psi = 0,9$	$N/2$	Зовнішня гілка		Підкранова гілка	
			$-M/h_0$	$N/2 - M/h_0$	M/h_0	$N/2 + M/h_0$
2 – 2	$+M_{\max}=330,66$ $N_{\text{відп}}=-515,99$	-258,00	-330,66	-588,66	330,66	72,66
	$-M_{\max}=-871,39$ $N_{\text{відп}}=-1827,57$	-913,79	+871,39	-42,40	-871,39	-1785,18
	$+M_{\text{відп}}=-104,90$ $N_{\max}=-1999,15$	-999,58	104,90	-894,68	-104,90	-1104,48
	$-M_{\text{відп}}=-852,11$ $N_{\max}=-1999,15$	-999,58	852,11	-147,47	-852,11	-1851,69
3 – 3	$+M_{\max}=1882,90$ $N_{\text{відп}}=-1180,47$	-590,24	-1882,90	-2473,1	1882,90	1292,66
	$-M_{\max}=-1731,24$ $N_{\text{відп}}=-1996,69$	-998,35	1731,24	732,89	-1731,24	-2729,59
	$+M_{\text{відп}}=1388,99$ $N_{\max}=-2168,27$	-1084,14	-1388,99	-2473,13	1388,99	+304,85
	$-M_{\text{відп}}=-1692,78$ $N_{\max}=-2168,27$	-1084,14	1692,78	608,64	-1692,78	-2776,92

$$A_b = \frac{N}{\varphi_0 R_y \gamma_c} = \frac{2777}{0,8 \cdot 24 \cdot 1} = 144,64 \text{ см}^2.$$

Приймаємо двотавр 60Ш1 (рис. 4.30) з площею перерізу:
 $A = 181,1 \text{ см}^2$.

Геометричні характеристики прийнятого перерізу наступні:
 $h = 580 \text{ мм}$; $b = 320 \text{ мм}$; $s = 12,0 \text{ мм}$; $t = 17,0 \text{ мм}$; $R = 28 \text{ мм}$;
 $i_y = 24,35 \text{ мм}$; $J_{1-1} = 9302 \text{ см}^4$; $i_{1-1} = 7,17 \text{ мм}$.

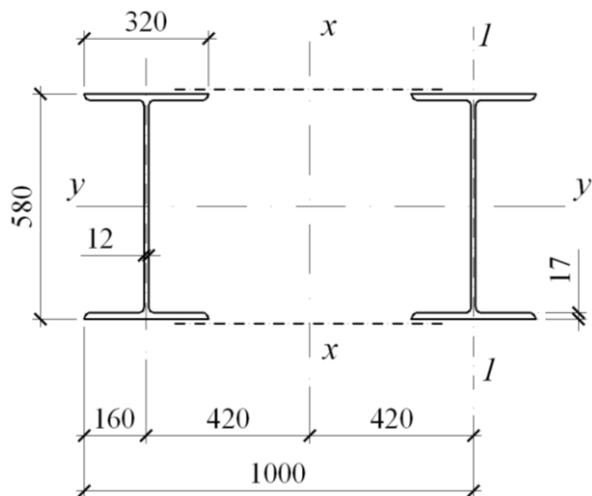


Рис. 4.30. Схема поперечного перерізу підкранової частини колони

Через те, що фактична відстань між гілками становить $h_0 = 1000 - \frac{320}{2} = 84 \text{ см}$, виконуємо уточнення розрахункового зусилля:

$$N_b = -\frac{2168,27}{2} - \frac{1692,78}{0,84} = -3099,4 \text{ кН} .$$

При цьому $\lambda_y = \frac{l_{efy1}}{i_y} = \frac{1040}{24,35} = 42,7$, $\varphi_y = 0,883$.

Перевірка стійкості гілки із площини рами:

$$\sigma = \frac{N_b}{\varphi_y \cdot A_b} = \frac{3099,4}{0,883 \cdot 181,1} = 19,38 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} = 193,8 \text{ МПа} < R_y \gamma_c = 240 \text{ МПа},$$

тобто загальна стійкість гілок із площини рами забезпечується.

Виходячи з умови рівності стійкості гілки в площині та поза площиною рами визначаємо відповідну відстань між вузлами решітки:

$$\lambda_{1-1} = \frac{l}{i_{1-1}} = \lambda_y = 42,7; \quad l = 42,7 \cdot 7,17 = 306,16 \text{ см}.$$

Враховуючи загальну довжину гілок підкранової частини колони та необхідний кут нахилу решітки до гілок $\alpha \approx 40 \div 60^\circ$, приймаємо відстань між вузлами $l = 240 \text{ см}$.

$$\lambda_{1-1} = \frac{240}{7,17} = 33,47. \text{ Оскільки } \lambda_{1-1} = 33,47 < \lambda_y = 42,7, \text{ то перевірка}$$

гілки на стійкість відносно осі 1-1 непотрібна.

Для колон з невисокими значеннями гнучкості виникає потреба у перевірці місцевої стійкості стінки гілки. При умовній гнучкості гілки

$$\bar{\lambda}_y = \lambda_y \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 42,7 \cdot \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 1,46 < 2.$$

Гранична умова гнучкості становить за табл. 27* [2]:

$$\bar{\lambda}_{\text{гв}} = 1,3 + 0,15 \bar{\lambda}_y^2 = 1,3 + 0,15 \cdot 1,46^2 = 1,62.$$

Для прийнятого двотавра 60Ш1: $t_w = 1,2 \text{ см}$; розрахункова висота стінки

$$h_{ef} = 58,0 - 2 \cdot (1,2 + 2,8) = 50,0 \text{ см, умовна гнучкість стінки:}$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_{ef}}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{50,0}{1,2} \cdot \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 1,42 < 1,62, \quad \text{тобто} \quad \text{місцева}$$

стійкість стінки забезпечена.

Розрахунок решітки колони

Розрахункова поперечна сила в перерізі колони $Q_{\text{max}} = 182,76 \text{ кН}$, при орієнтовному значенні $\varphi = 0,6$ умовна поперечна сила становить:

$$Q_{fic} = 7,15 \cdot 10^{-6} (2330 - E / R_y) \frac{N}{\varphi} = 7,15 \cdot 10^{-6} \left(2330 - \frac{2,06 \cdot 10^5}{240} \right) \frac{2168,27}{0,6} =$$

$$= 38,03 \text{ кН.}$$

$$Q_{fic} = 38,03 \text{ кН} < Q_{\text{max}} = 182,76 \text{ кН.}$$

Підбір перерізів решітки виконується за значення $Q_{\text{max}} = 182,76 \text{ кН}$.

Довжина розкосу та його нахил відносно осі гілки (рис. 4.31):

$$l_d = \sqrt{h_0^2 + b^2} = \sqrt{0,84^2 + 1,20^2} = 1,47 \text{ м}, \sin \alpha = \frac{h_0}{l_d} = \frac{0,84}{1,47} = 0,5714,$$

$$\alpha = 34,8^\circ.$$

Зусилля в розксі:

$$N_{d1} = \frac{Q_{\max}}{2 \sin \alpha} = \frac{182,76}{2 \cdot 0,5714} = 159,92 \text{ кН}.$$

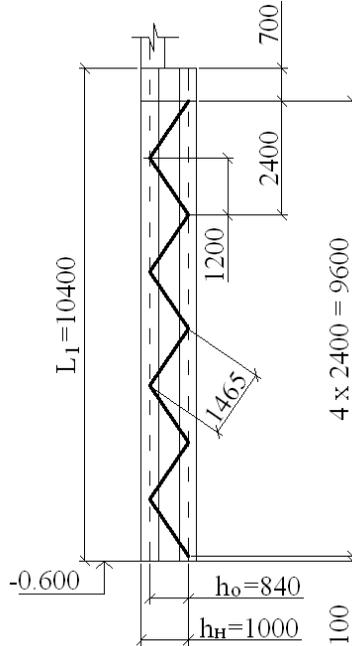


Рис. 4.31. Схема решітки підкранової частини колони

Розкіс решітки конструюємо із одиночних кутиків, необхідна площа перерізу яких при орієнтовному значенні $\lambda_0 = 100$ та $\varphi_0 = 0,542$ складає:

$$A = \frac{N_{d1}}{\varphi_0 \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{159,92}{0,542 \cdot 24 \cdot 0,75} = 16,39 \text{ см}^2.$$

Для поодинокого кутика, що кріпиться однією полицею, $\gamma_c = 0,75$.

Приймаємо кутник 100×10 для якого $A = 19,24 \text{ см}^2$,
 $i_{\min} = i_{yo} = 1,96 \text{ см}$.

$$\lambda = \frac{l_d}{i_{yo}} = \frac{147}{1,96} = 75,0, \quad \varphi = 0,720;$$

$$\frac{N_{d1}}{A_d \cdot \varphi} = \frac{159,92}{19,24 \cdot 0,720} = 11,5 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R_y \gamma_c = 24 \cdot 0,75 = 18 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Перевірка стійкості колони в площині дії моменту як єдиного стержня потребує визначення таких величин:

– геометричні характеристики перерізу в цілому:

$$A = 2A_b = 2 \cdot 181,1 = 362,2 \text{ см}^2;$$

$$I_x = 2 \cdot \left[I_{1-1} + A_b \cdot \left(\frac{h_0}{2} \right)^2 \right] = 2 \cdot [9302 + 181,1 \cdot 42,0^2] = 657530 \text{ см}^4;$$

$$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{A}} = \sqrt{\frac{657530}{362,2}} = 42,61 \text{ см};$$

– гнучкість $\lambda_y = \frac{l_{ef,1}}{i_x} = \frac{2449}{42,61} = 57,47;$

– зведена гнучкість для наскрізного стержня з решіткою за формулою, що має параметр:

$$\alpha = 10 \frac{l_d^3}{h_0^2 \cdot l / 2} = 10 \frac{1,47^3}{0,84^2 \cdot 2,40 / 2} = 37,516;$$

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + \alpha \frac{A}{2A_d}} = \sqrt{57,47^2 + 37,516 \cdot \frac{362,2}{2 \cdot 19,24}} = 60,46;$$

$$\bar{\lambda}_{ef} = 60,46 \sqrt{\frac{240}{2,06 \cdot 10^5}} = 2,06.$$

При цьому виконується умова $\lambda_{1-1} = 33,47 < \lambda_{ef} = 60,46$.

Оскільки колона має симетричний переріз, перевірку виконуємо тільки за розрахунковою комбінацією зусиль, що викликає максимальне стискуєче зусилля у гілці: $M = -1692,78 \text{ кНм}$, $N = -2168,27 \text{ кН}$.

Визначимо відносний ексцентриситет за розрахунковою комбінацією зусиль, що довантажує підкранову гілку:

$$m = e \frac{Aa}{I_x} = \frac{1692,78 \cdot 10^2}{2168,27} \cdot \frac{362,2 \cdot 42,0}{657530} = 1,81 < 20.$$

Коефіцієнт φ_e за табл. 75, [2] при $\bar{\lambda}_{ef} = 2,06$; та $m = 1,81$ становить $\varphi_e = 0,3123$.

Перевірка стійкості відносно осі X (як єдиного стержня):

$$\sigma = \frac{N}{A \cdot \varphi_e} = \frac{2168,27}{362,2 \cdot 0,3123} = 19,17 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R_y \gamma_c = 24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2},$$

тобто загальна стійкість підкранової частини колони в площині дії моменту, як єдиного стержня забезпечена.

Розрахунок і конструювання вузла сполучення верхньої та нижньої частин колони.

Розрахункові сполучення зусиль (табл. 4.6) у перерізі 1-1 (над уступом) при дії яких виникають найбільші розтяжні зусилля в полицях надкранової частини колони:

- комбінація 1+4+6+8: $M = +531,31 \text{ кНм}$, $N = -344,41 \text{ кН}$ (розтяг внутрішньої полиці);
- комбінація 1+7: $M = -291,93 \text{ кНм}$, $N = -344,41 \text{ кН}$ (розтяг зовнішньої полиці).

Максимальне розрахункове вертикальне кранове навантаження на колону $F_{\text{max}} = 1647,96 \text{ кН}$.

Перевірка стикового шва W_3 , що з'єднує надкранову та підкранову частин колони виконується за нормальними напруженнями за умови повного провару з'єднувальних елементів, виводу кінців шва за межі стику, застосування відповідних зварювальних матеріалів та відсутності фізичного контролю якості розтягнутого шва $R_{wy} = 0,85R_y = 0,85 \cdot 24 = 20,4 \text{ кН/см}^2$:

– по внутрішній полиці:

$$\sigma = -\frac{N}{A} + \frac{M}{W} = -\frac{344,41}{362,2} + \frac{531,31 \cdot 10^2}{2671,1} = -0,95 + 19,89 = 18,94 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R_{wy} \cdot \gamma_c = 20,4 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2};$$

– по зовнішній полиці:

$$\sigma = -\frac{N}{A} + \frac{M}{W} = -\frac{344,41}{362,2} + \frac{29193}{2671,1} = -0,95 + 10,93 = 9,98 \frac{\kappa H}{\text{см}^2} <$$

$$< R_{wy} \cdot \gamma_c = 20,4 \frac{\kappa H}{\text{см}^2}.$$

Товщина стінки траверси при передачі зусилля F_{\max} через фрезеровані поверхні, визначається за умови її зминання в зоні обпирання підкранової балки. При ширині опорного ребра типової підкранової балки $b_s = 300$ мм, довжина площадки зминання стінки траверси визначається за формулою:

$$l_{ef} = b_s + 2t = 30 + 2 \cdot 2 = 34 \text{ см}, \quad R_p = 360 \text{ МПа};$$

$$t_{tr} \geq \frac{F_{\max}}{l_{ef} \cdot R_p \cdot \gamma_c} = \frac{1647,96}{34 \cdot 36 \cdot 1} = 1,346 \text{ см}, \quad \text{приймаємо } t_{tr} = 14 \text{ мм}.$$

Висоту стінки траверси призначаємо виходячи з розгляду таких розрахункових ситуацій:

– за умови міцності на згин та зріз траверси як умовної балки двотаврового перерізу, що спирається на стінки двотаврів гілок колони;

– за умови міцності на зріз стінки двотавра підкранової гілки при спиранні на неї через проріз стінки траверси;

– за умови розміщення групи швів W_1 ; для збільшення кількості швів до чотирьох, що прикріплюють стінку траверси до стінки підкранової гілки колони, в стінці двотавра виконується проріз, в який вставляється траверса;

– за умови розміщення швів W_2 , що приєднують до стінки вертикальне ребро траверси під внутрішньою полицею підкранової частини колони та швів W_4 , що приєднують стінку траверси до зовнішньої гілки (рис. 4.32).

Для складання розрахункової схеми траверси як умовної балки визначимо навантаження, що спричиняє найбільшу опорну реакцію:

при розрахунковій комбінації зусиль в перерізі 1-1 над уступом колони $M = -289,09 \text{ кНм}$, $N = -515,99 \text{ кН}$:

$$N_f = \frac{N}{2} + \frac{M}{h_2} = -\frac{515,99}{2} - \frac{289,09}{0,5} = -836,18 \text{ кН}.$$

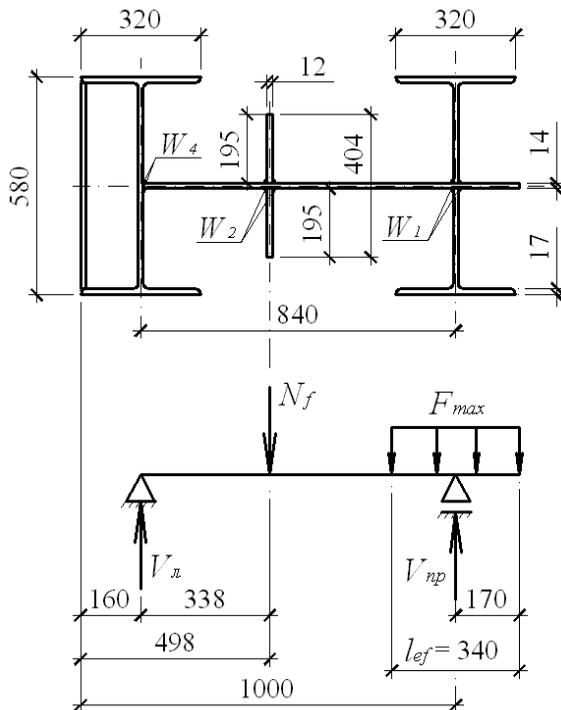


Рис. 4.32. Схема з'єднання надкранової та підкранової частин колони

Опорні реакції умовної балки:

$$V_n = \frac{836,18 \cdot 0,502}{0,84} = 497,7 \text{ кН}, \quad V_{np} = \frac{836,18 \cdot 0,338}{0,84} = 338,5 \text{ кН}.$$

F_{\max} враховується з коефіцієнтом сполучення 0,9, бо загальна комбінація навантажень, що розглядається, відповідає другому основному сполученню.

Визначимо висоту траверси з умови її міцності на зріз. Розрахункове зусилля з врахуванням коефіцієнта нерівномірності $k=1,2$ передачі зусилля F_{\max} дорівнює:

$$Q_{ef, \max} = V_n + \frac{1,2 F_{\max} \cdot 0,9}{2} = 338,5 + \frac{1,2 \cdot 1647,96 \cdot 0,9}{2} = 1228,4 \text{ кН}.$$

$$h_{tr} = \frac{Q_{ef, \max}}{t_{tr} \cdot R_s \cdot \gamma_c} = \frac{1228,4}{1,4 \cdot 13,92 \cdot 1} = 63 \text{ см},$$

$$R_s = 0,58R_y = 0,58 \cdot 24 = 13,92 \frac{\kappa H}{\text{см}^2}.$$

Приймаємо висоту траверси 70 см, що відповідає значенню, яке було призначено при конструюванні.

Перевірка міцності стінки підкранової гілки на зріз у місці кріплення траверси:

$$\tau = \frac{V_n + D_{\max}}{2 \cdot t_w \cdot h_{tr}} = \frac{338,5 + 1647,96}{2 \cdot 1,2 \cdot 70} = 11,82 \frac{\kappa H}{\text{см}^2} < R_s = 13,92 \frac{\kappa H}{\text{см}^2}.$$

Зварювальні шви перевіряємо за таких вихідних даних: зварювання напівавтоматичне дротом СВ-08А (діаметр зварного дроту 1,4 мм), $R_{wf} = 180$ МПа; $R_{wz} = 0,45 \cdot R_{un} = 0,45 \cdot 370 = 166,5$ МПа; $\beta_f = 0,9$; $\beta_z = 1,05$; $\gamma_{wf} = \gamma_{wz} = 1,0$.

Умова $R_{wz} < R_{wf} < R_{wz} \cdot \beta_z / \beta_f$ виконується.

$$R_{wf} \beta_f \gamma_{wf} = 180 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 162 \text{ МПа},$$

$$R_{wz} \beta_z \gamma_{wz} = 166,5 \cdot 1,05 \cdot 1,0 = 175 \text{ МПа}.$$

Через те, що $R_{wf} \cdot \beta_f \cdot \gamma_{wf} < R_{wz} \cdot \beta_z \cdot \gamma_{wz}$, розрахунок далі ведемо за R_{wf} .

При зварюванні траверси $t_{tr} = 14$ мм і стінки двотавра 60Ш1 $t_w = 12,0$ мм, максимальний катет шва W_1 $k_{f,\max} = 1,2 \cdot t_{\min} = 1,2 \cdot 12,0 = 14,4$ мм, мінімальний катет шва за [2] табл. 38, $k_{f,\min} = 5$ мм і мінімальний катет шва при виконанні умови $l_{w,\min} \leq 85 \cdot k_f \cdot \beta_f$ та 4 розрахункових швах:

$$k_{f,\min} = \frac{1}{\beta_f} \cdot \sqrt{\frac{V_{np} + F_{\max}}{85 \cdot 4 \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c}} = \frac{1}{0,9} \cdot \sqrt{\frac{338,5 + 1647,96}{85 \cdot 4 \cdot 18 \cdot 1 \cdot 1}} = 0,63 \text{ см},$$

Приймаємо $k_{f1} = 7$ мм, тоді

$$l_{w1} = \frac{V_{np} + F_{\max}}{4 \cdot k_{f,1} \cdot \beta_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c} + 1 \text{ см} = \frac{338,5 + 1647,96}{4 \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot 18 \cdot 1,0 \cdot 1,0} + 1 = 45 \text{ см} < h_{tr} = 70 \text{ см}.$$

Прикріплення стінки траверси до зовнішньої гілки колони можливо виконати швом з катетом:

$$k_{f,\min} = \frac{1}{\beta_f} \cdot \sqrt{\frac{V_n}{85 \cdot 2 \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c}} = \frac{1}{0,9} \cdot \sqrt{\frac{497,7}{85 \cdot 2 \cdot 18 \cdot 1 \cdot 1}} = 0,45 \text{ см},$$

Приймаємо $k_{f,4} = 5$ мм, тоді потрібна довжина шва W_4 :

$$l_{w4} = \frac{V_n}{2 \cdot k_f \cdot \beta_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c} + 1 \text{ см} = \frac{497,7}{4 \cdot 0,5 \cdot 0,9 \cdot 18 \cdot 1,0 \cdot 1,0} + 1 = 32 \text{ см} < h_{tr} = 70 \text{ см}.$$

Вертикальне ребро беремо із двох смуг -195×12 мм, (рис. 4.32) при цьому площа його перерізу дорівнює площі полиці верхньої частини колони. Парне ребро кріпиться до стінки траверси чотирма кутовими швами W_2 з мінімальним катетом:

$$k_{f,\min} = \frac{1}{0,9} \cdot \sqrt{\frac{836,18}{85 \cdot 4 \cdot 18 \cdot 1 \cdot 1}} = 0,41 \text{ см},$$

що дозволяє прийняти $kf,2 = 5$ мм, при цьому потрібна довжина шва складає:

$$l_{w,2} = \frac{836,18}{4 \cdot 0,5 \cdot 0,9 \cdot 18 \cdot 1,0 \cdot 1,0} + 1 = 26,8 < h_{tr} = 70 \text{ см}.$$

Для сприйняття згинального моменту траверсу конструємо як двотаврову балку з нижнім поясом із листа -300×14 мм та верхнім поздовжнім ребром із двох листів -160×14 мм, зміщеним вниз від стику на 150 мм (рис. 4.33).

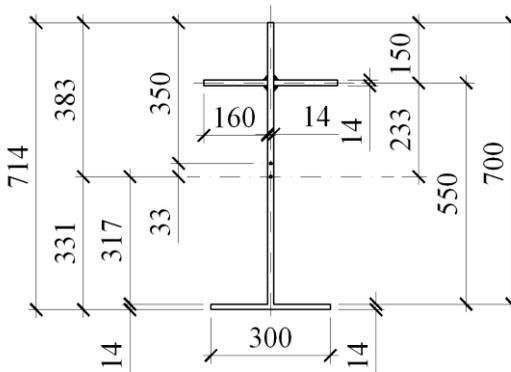


Рис. 4.33. Поперечний переріз траверси

Геометричні характеристики перерізу:

– положення центра ваги перерізу:

$$y_{ц.в.} = \frac{30 \cdot 1,4 \cdot 0,7 + 70 \cdot 1,4 \cdot 36,4 + 2 \cdot 16 \cdot 1,4 \cdot 56,4}{30 \cdot 1,4 + 70 \cdot 1,4 + 2 \cdot 16 \cdot 1,4} = 33,1 \text{ см};$$

– момент інерції перерізу:

$$I_x = \frac{30 \cdot 1,4^3}{12} + 30 \cdot 1,4 \cdot 32,4^2 + \frac{1,4 \cdot 70^3}{12} + 1,4 \cdot 70 \cdot 3,3^2 + 2 \cdot \frac{16 \cdot 1,4^3}{12} + 2 \cdot 16 \cdot 1,4 \cdot 23,3^2 = 109509,5 \text{ см}^4;$$

– момент опору для крайньої верхньої точки з $y_{ц.в} = 71,4 - 33,1 = 38,3$ см:

$$W_{x,\min} = \frac{109509,5}{38,3} = 2859,3 \text{ см}^3.$$

Найбільший згинальний момент у траверсі (див. рис. 4.32):

$$M_{tr} = V_n \cdot l_n = 497,7 \cdot 0,338 = 169,22 \text{ кНм}.$$

Перевірка міцності за нормальними напруженнями:

$$\sigma = \frac{M_{tr}}{W_{x,\min}} = \frac{16922}{2859,3} = 5,92 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R_y \cdot \gamma_c = 24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Перевірка дотичних напружень не потрібна, бо висота траверси визначалась з умови її міцності на зріз.

У даному випадку міцність траверси на згин може бути забезпечена лише самою стінкою, а горизонтальні елементи виконують лише конструктивну функцію, тому маємо

$$W_{tr} = \frac{1,4 \cdot 70^2}{6} = 1143,3 \text{ см}^3;$$

$$\sigma = \frac{M_{tr}}{W_{tr}} = \frac{16922}{1143,3} = 14,8 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R_y \cdot \gamma_c = 24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Розрахунок і конструювання бази колони

База колони проектується роздільного типу. Комбінація зусиль, при якій виникає найбільше стискаюче зусилля, визначена в табл. 4.6 розрахункових сполучень зусиль:

$$M = -1692,78 \text{ кН}\cdot\text{м}; N = -2168,27 \text{ кН}.$$

Уточнене стискаюче зусилля в гілці колони (див. розрахунок підкранової частини колони) складає: $N_b = -3099,4$ кН.

Плита бази розраховується як для центрально стисненої колони за допомогою таблиць В.Г. Гальоркіна, наведених у табл. 11.7, 11.8 [1]. Для фундаментів приймається бетон класу В12,5 $R_b = 7,5$ МПа. Приймаючи орієнтовно $\gamma_b = 1,2$ (може бути уточнене при проектуванні фундаментів),

$$R_{b,loc} = R_b \cdot \gamma_b = 7,5 \cdot 1,2 = 9 \text{ МПа} = 0,9 \text{ кН/см}^2.$$

З умови міцності фундаменту на зминання необхідна площа плити бази:

$$A_{pl} = \frac{N}{R_{b,loc}} = \frac{3099,4}{0,9} = 3443,78 \text{ см}^2.$$

Орієнтовно, товщину траверси приймаємо $t_{tr} = 16$ мм, ширина звису $c_1 = 45$ мм (не менше 40 мм). Тоді ширина плити складає: $B \geq b + 2t_{tr} + 2c_1 = 32 + 2 \cdot 1,6 + 2 \cdot 4,5 = 44,2$ см, згідно сортаменту листового прокату [6] беремо $B = 45$ см, (рис. 4.34).

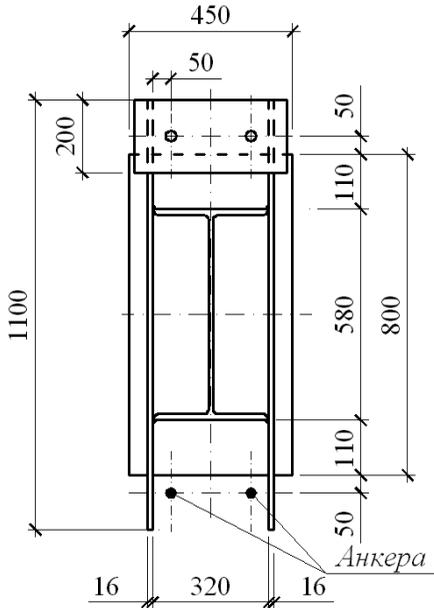


Рис. 4.34. Схема бази колони

Довжина плити $L = \frac{A_{pl}}{B} = \frac{3443,78}{45} = 76,5$ см, беремо $L = 80$ см.

Остаточню приймаємо плиту 450×800 мм.

Середнє напруження під плитою бази (реакція фундаменту у вигляді навантаження, розподіленого рівномірно під плитою):

$$\sigma_f = \frac{N}{BL} = \frac{3099,4}{45 \cdot 80} = 0,861 \text{ кН/см}^2 < R_{b,loc} = 0,9 \text{ кН/см}^2.$$

Згинальні моменти, що виникають у плиті внаслідок дії реактивної відсічі, визначаються для кожної ділянки плити залежно від опорних закріплень кожної з них:

– ділянка 1 (консольний звис $c_1 = 49$ мм),

$$M_1 = \frac{\sigma_f \cdot c_1^2}{2} = \frac{0,861 \cdot 4,9^2}{2} = 10,8 \text{ кН} \cdot \text{см};$$

– ділянка 2 (обперта на три сторони, $b_1 = 11$ см, $a_1 = 32$ см, відношення $b_1/a_1 = 11/32 = 0,34 < 0,5$; оскільки відношення сторін менше 0,5, то ділянка розглядається як консольна з розрахунковим вильотом b_1 :

$$M_2 = \frac{\sigma_f \cdot b_1^2}{2} = \frac{0,861 \cdot 11^2}{2} = 52,1 \text{ кН} \cdot \text{см};$$

– ділянка 3 (оперта на 4 сторони, $b/a = 54,6 / 15,4 = 3,5 > 2$, $\alpha = 0,125$):

$$M_3 = \alpha \cdot \sigma_f \cdot a^2 = 0,125 \cdot 0,861 \cdot 15,4^2 = 26,68 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

До розрахунку треба прийняти $M_2=52,1$ як найбільший серед згинальних моментів по опорній плиті.

Потрібна товщина плити:

$$t_{pl} = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{\max}}{R_y \cdot \gamma_c}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 52,1}{24 \cdot 1,2}} = 3,30 \text{ см},$$

де $\gamma_c=1,2$, $R_y = 240$ МПа для сталі С245 товщиною 20...40 мм.

Приймаємо товщину плити $t_{pl} = 34$ мм із листа товщиною 36 мм (мінус 2 мм на фрезерування).

Висоту траверс визначаємо з умови розміщення зварних швів для прикріплення їх до гілки колони (в запас міцності вважаємо, що зусилля N з гілки колони передається на плиту тільки через траверси).

Мінімально необхідний катет швів при чотирьох швах:

$$k_f = \frac{1}{\beta_f} \cdot \sqrt{\frac{N}{n \cdot 85 \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c}} = \frac{1}{0,9} \cdot \sqrt{\frac{3099,4}{4 \cdot 85 \cdot 18 \cdot 1 \cdot 1}} = 0,79 \text{ см},$$

$k_{f,\min} = 5$ мм; $k_{f,\max} = 1,2 \cdot 14 = 16,8$ мм, приймаємо $k_f = 14$ мм.

Потрібна довжина шва:

$$l_w = \frac{N}{n \cdot k_f \cdot \beta_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c} + 1 \text{ см} = \frac{3099,4}{4 \cdot 1,4 \cdot 0,9 \cdot 18 \cdot 1,0 \cdot 1,0} + 1 = 35,16 \text{ см}.$$

Приймаємо траверсу висотою 450 мм. Торець колони з привареними траверсами, необхідно фрезерувати, плиту – стругати. При цьому зварні шви, що з'єднують плиту з траверсами, призначаємо конструктивно відповідно до табл. 38 [2] при $t_{pl} = 20$ мм. Приймаємо напіваавтоматичне або ручне зварювання з $k_f = 8$ мм.

Розрахункове зусилля відриву для розрахунку анкерних болтів у табл. 4.6 за комбінацією N_{min} , + $M_{відн}$ визначене формально, а тому невдало, бо при $N_{min} = -421,09$ кН та $M_{відн} = 1134,34$ кН·м зусилля відриву становить $N_a = \frac{1134,34}{0,84} - \frac{421,09}{2} = 1139,9$ кН, а в табл. 4.8

комбінація зусиль + $M_{max} = 1882,90$ кН·м, $N_{відн} = 1180,47$ кН дає більшу величину відриву в підкрановій гілці. Ця комбінація одержана при сполученні $1+0,9 \cdot (2+4+5+8)$ навантажень і уточнюється при врахуванні зусиль від постійного навантаження з коефіцієнтом надійності за навантаженням $\gamma_f = 0,9$:

$$M = 80,97 \cdot \frac{0,9}{1,1} + 0,9 \cdot (42,74 + 276,57 + 614,89 + 1067,94) = 1868,17 \text{ кНм};$$

$$N = -513,53 \cdot \frac{0,9}{1,1} + 0,9 \cdot (-190,64 - 550,40) = -1087,1 \text{ кН}.$$

Зусилля відриву у гілці при фактичній відстані між гілками $h_0 = 0,84$ м:

$$N_a = \frac{1868,17}{0,84} - \frac{1087,1}{2} = 1680,5 \text{ кН}.$$

Для закріплення гілки беремо чотири фундаментні болти, розрахункове зусилля в кожному з яких:

$$N_b = \frac{N_a}{4} = \frac{1680,5}{4} = 420,12 \text{ кН}.$$

Приймаємо фундаментні болти із сталі 09Г2С, розрахунковий опір болтів діаметром 64...80 мм $R_{ba} = 220$ МПа. Необхідна площа перерізу одного болта:

$$A_{bn} = \frac{N_b}{R_{ba}} = \frac{420,12}{22} = 19,1 \text{ см}^2;$$

приймаємо фундаментні болти М64 з площею перерізу нетто $A_{bn} = 25,12 \text{ см}^2 > 19,1 \text{ см}^2$.

Перевірка міцності траверси виконується як для умовної двоконсольної балки, опертої шарнірно на гілку колони в місцях розташування зварних швів та навантаженої зусиллями в фундаментних болтах (рис. 4.35).

Геометричні характеристики:

$$A_{tr} = 45 \cdot 1,6 = 72,0 \text{ см}^2; \quad W_{tr} = 1,6 \cdot 45^2 / 6 = 540,0 \text{ см}^3.$$

Згинальний момент у траверсі:

$$M = 420,12 \cdot 16 = 6721,92 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

Перевірка напружень у перерізі на опори:

$$\sigma = \frac{M}{W_{tr}} = \frac{6721,92}{540,0} = 12,4 \text{ кН/см}^2 < R_y \cdot \gamma_c = 24,0 \text{ кН/см}^2;$$

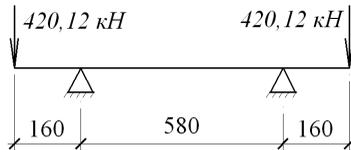


Рис. 4.35. Розрахункова схема траверси

$$\tau = \frac{1,5 Q}{A_{tr}} = \frac{1,5 \cdot 420,12}{72} = 8,75 \text{ кН/см}^2 < R_y \cdot \gamma_c = 0,58 \cdot 24 \cdot 1 = 13,9 \text{ кН/см}^2;$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{12,4^2 + 3 \cdot 8,75^2} = 19,6 \text{ кН/см}^2 < 1,15 R_y \cdot \gamma_c = 1,15 \cdot 24 \cdot 1 = 27,6 \text{ кН/см}^2, \text{ тобто міцність траверси забезпечена.}$$

Анкерні плиткі із сталі С345 ($R_y = 280$ МПа для $t = 40 \dots 60$ мм) розраховуються на дію зусилля в фундаментному болті, що дорівнює його несучій здатності (рис. 4.36):

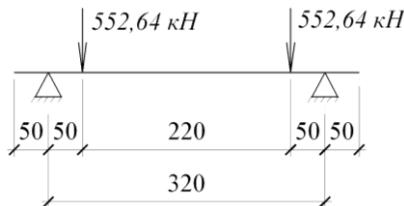


Рис. 4.36. Розрахункова схема анкерної плиткі

$$N_{ba} = A_{bn} \cdot R_{ba} = 25,12 \cdot 22 = 552,64 \text{ кН}.$$

$$M = 552,64 \cdot 0,05 = 27,63 \text{ кНм};$$

$$W_{cal} = \frac{M}{R_y \cdot \gamma_c} = \frac{27,63 \cdot 10^2}{28} = 98,7 \text{ см}^2.$$

Приймаємо ширину плити $b_s = 200$ мм, тоді необхідна її товщина:

$$t_s = \sqrt{\frac{6 \cdot W_{cal}}{b_s}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 98,7}{20}} = 5,44 \text{ см}; \text{ беремо } t_s = 56 \text{ мм (із листа}$$

завтовшки 58 мм з урахуванням 2 мм на фрезерування).

4.2.5. Розрахунок ферми

Збір навантажень

Погонне навантаження на ригель не крайньої рами, наприклад по осі 3 за п. 4.2.2 становить: постійне - $q_n = 16,56 \text{ кН/м}$; снігове - $q_s = 15,88 \text{ кН/м}$.

Рівномірно розподілене навантаження слід привести до зосередженого, прикладеного у вузлах верхнього пояса ферми (рис. 4.37). Постійне навантаження:

$$F_{n1} = q_n \cdot a / 2 = 16,56 \cdot 3 / 2 = 24,84 \text{ кН};$$

$$F_{n2} = q_n \cdot a / 2 = 16,56 \cdot 3 = 49,68 \text{ кН};$$

$$F_{n3} = q_n \cdot (a + a / 2) = 16,56 \cdot (3 + 3 / 2) = 74,52 \text{ кН}.$$

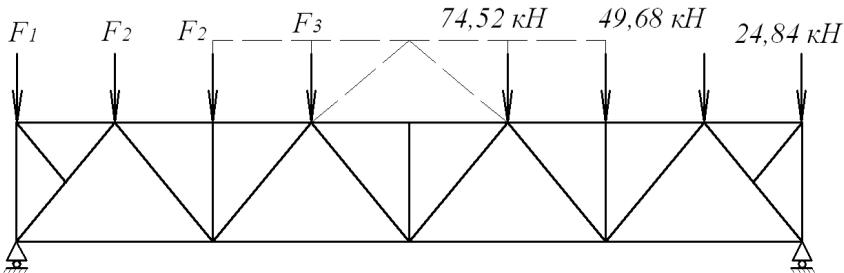


Рис. 4.37 Схема прикладання постійного навантаження

Розрахунок снігового навантаження виконувався для зони С, (рис. 4.38) з урахуванням наявності поздовжнього ліхтаря згідно з ДБН В.1.2-2:2006, [5]:

Варіант 1: $\mu_1 = 0,8$;

$$\mu_2 = 1 + 0,1 a/b = 1 + 0,1 \cdot 12 / 6 = 1,2.$$

Варіант 2: $\mu = 1,0$;

$$\mu_3 = 1 + 0,5 a/bl = 1 + 0,5 \cdot 12 / 2,5 = 3,4; \text{ де } b_l = h_l = 2,5 \text{ м.}$$

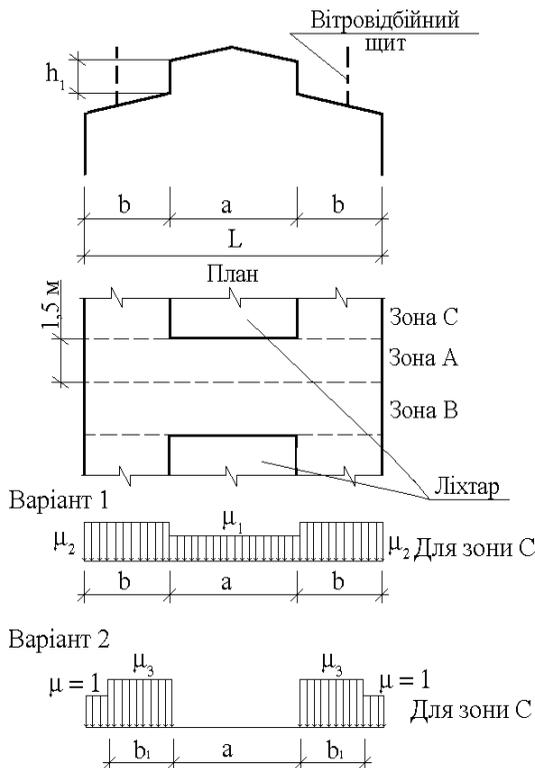


Рис. 4.38 Схема снігових навантажень і коефіцієнти μ

Рівномірно розподілене снігове навантаження при $\mu = 1$ становить $q_s = 15,88 \text{ кН/м}$. З урахуванням інших значень коефіцієнта переходу від ваги снігового покриву на поверхні ґрунту до снігового навантаження на покрівлю - μ :

$$S_{m,s1} = \gamma_{fm} S_0 C_1 = 1,04 \cdot 1,34 \cdot 0,8 = 1,11 \text{ кН/м}^2;$$

$$S_{m,s2} = \gamma_{fm} S_0 C_2 = 1,04 \cdot 1,34 \cdot 1,2 = 1,67 \text{ кН/м}^2;$$

$$S_{m,s3} = \gamma_{fm} S_0 C_3 = 1,04 \cdot 1,34 \cdot 3,4 = 4,74 \text{ кН/м}^2;$$

де γ_{fn} – коефіцієнт надійності за граничним значенням снігового навантаження. Приймаємо $\gamma_{fn} = 1,04$; $T = 60$ років; за додатком В, ДБН В.1.2-2:2006 [5]; S_0 – характеристичне значення снігового навантаження (в Па), що визначається згідно [5]; $S_0 = 1,34$ кПа.

C – коефіцієнт, що визначається за формулою:

$$C_1 = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_{alt} = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 = 0,8;$$

$$C_2 = 1,2 \cdot 1 \cdot 1 = 1,2; \quad C_3 = 3,4 \cdot 1 \cdot 1 = 3,4;$$

де C_e – коефіцієнт, що враховує режим експлуатації покрівлі $C_e = 1$; C_{alt} – коефіцієнт географічної висоти, $C_{alt} = 1$.

Розрахункове рівномірно розподілене навантаження на ригель з урахуванням $\gamma_n = 0,95$:

$$q_{s1} = S_{m.s1} \cdot B \cdot \gamma_n = 1,11 \cdot 12 \cdot 0,95 = 12,65 \text{ кН / м};$$

$$q_{s2} = S_{m.s2} \cdot B \cdot \gamma_n = 1,67 \cdot 12 \cdot 0,95 = 19,04 \text{ кН / м};$$

$$q_{s3} = S_{m.s3} \cdot B \cdot \gamma_n = 4,74 \cdot 12 \cdot 0,95 = 54,04 \text{ кН / м}.$$

Рівномірно розподілене навантаження слід привести до зосередженого, прикладеного у вузлах верхнього пояса ферми (рис. 4.39, 4.40).

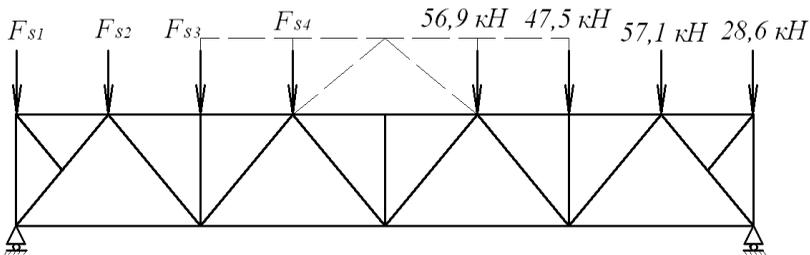


Рис. 4.39 Схема прикладання першого варіанту снігового навантаження

Снігове навантаження (варіант 1):

$$F_{s1} = q_{s2} \cdot a / 2 = 19,04 \cdot 3 / 2 = 28,6 \text{ кН};$$

$$F_{s2} = q_{s2} \cdot a = 19,04 \cdot 3 = 57,1 \text{ кН};$$

$$F_{s3} = q_{s2} \cdot a / 2 + q_{s1} \cdot a / 2 = 19,04 \cdot 3 / 2 + 12,65 \cdot 3 / 2 = 47,5 \text{ кН};$$

$$F_{s4} = q_{s1} \cdot (a / 2 + a) = 12,65 \cdot (3 / 2 + 3) = 56,9 \text{ кН}.$$

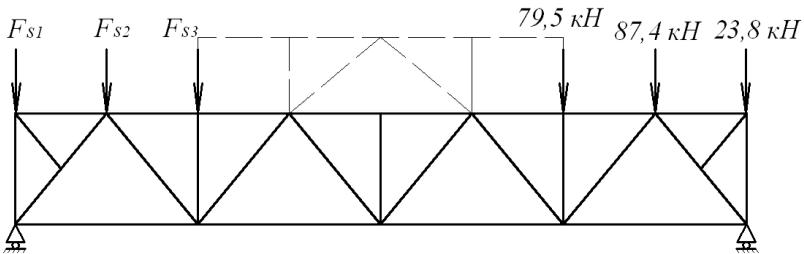


Рис. 4.40 Схема прикладання другого варіанту снігового навантаження

Снігове навантаження (варіант 2):

$$F_{s1} = q_s \cdot a / 2 = 15,88 \cdot 3 / 2 = 23,8 \text{ кН};$$

$$F_{s2} = q_s \cdot a / 2 + P = 15,88 \cdot 3 / 2 + 63,57 = 87,4 \text{ кН};$$

$$P = \frac{54,04 \cdot 2,5 \cdot 1,25 + 15,88 \cdot 0,5 \cdot 2,75}{3} = 63,57 \text{ кН};$$

$$F_{s3} = \frac{54,04 \cdot 2,5 \cdot 1,75 + 15,88 \cdot 0,5 \cdot 0,25}{3} = 79,5 \text{ кН};$$

Визначення зусиль в елементах ферми може виконуватись будь-якими відомими методами будівельної механіки – аналітичними (вирізування вузлів, метод перерізів), графічним (побудовою діаграми Максвелла – Кремони) або за допомогою відомих обчислювальних комплексів. В даному випадку значення поздовжніх зусиль в елементах ферми визначалися з урахуванням рамного розпору за допомогою програмного комплексу ЛПРА-САПР (див. гл. 3).

Підбір перерізу стержнів ферми

Ферма проектується з елементами таврового перерізу із парних рівнополичних кутиків. При підборі доцільно виконати їхню уніфікацію, враховуючі значення розрахункових зусиль.

Переріз нижнього поясу підбираємо по максимальному зусиллю: $N_{nn} = 632,896 \text{ кН}$, $l_{ef,x} = l_{ef,y} = 600 \text{ см}$. Коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 0,95$, гранична гнучкість $\lambda_u = 400$. Сталь С245 із значенням розрахункового опору $R_y = 240 \text{ МПа}$. Потрібні геометричні характеристики перерізу:

$$A_n = \frac{N}{R_y \cdot \gamma_c} = \frac{632,896}{24 \cdot 0,95} = 27,76 \text{ см}^2, \quad i_x = i_y = \frac{l_{ef}}{\lambda_u} = \frac{600}{400} = 1,5 \text{ см.}$$

За сортаментом приймаємо $2 \perp 100 \times 10$:

$$A = 19,24 \cdot 2 = 38,48 \text{ см}^2, \quad I_{x1} = I_{y1} = 178,95 \text{ см}^4, \quad z_0 = 2,83 \text{ см,}$$

$$I_y = 2I_{y1} + 2 \cdot A \cdot \left(z_0 + \frac{t}{2} \right)^2 = 2 \cdot 178,95 + 2 \cdot 19,24 \cdot \left(2,83 + \frac{1,2}{2} \right)^2 = 810,6 \text{ см}^4;$$

де t – товщина фасонки, приймаємо $t = 1,2 \text{ см}$.

$$I_x = 2I_{x1} = 2 \cdot 178,95 = 357,9 \text{ см}^4,$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_n}} = \sqrt{\frac{810,6}{38,48}} = 4,59 \text{ см}, \quad i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A_n}} = \sqrt{\frac{357,9}{38,48}} = 3,05 \text{ см.}$$

Перевіряємо підібраний переріз:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} = \frac{632,896}{38,48} = 16,45 < 24 \cdot 0,95 = 22,8 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2};$$

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{600}{3,05} = 196,7 < 400, \quad \lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{600}{4,59} = 130,72 < 400.$$

Переріз верхнього поясу підбираємо по максимальному зусиллю: $N_{en} = -640,992 \text{ кН}$. Розрахункова довжина стержня в площині ферми дорівнює відстані між її вузлами $l_{ef,x} = 300 \text{ см}$. Поза площиною розкріплення верхнього пояса створюють прогони, але тільки ті, які закріплені до жорсткого в'язевого блока. Для прийнятої схеми покриття розрахункова довжина верхнього пояса поза площиною ферми дорівнює відстані між вузлами кріплення вертикальних в'язей покриття $l_{ef,y} = 600 \text{ см}$. Коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 0,95$, гранична гнучкість $\lambda_u = 180 - 60 \cdot \alpha$. Сталь С245 із значенням розрахункового опору $R_y = 240 \text{ МПа}$. Попередньо беремо гнучкість $\lambda = 100$ і за табл. 72. [2] визначаємо відповідний коефіцієнт поздовжнього згину $\varphi = 0,542$.

Потрібні геометричні характеристики перерізу:

$$A_n = \frac{N}{\varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{640,992}{0,542 \cdot 24 \cdot 0,95} = 51,87 \text{ см}^2;$$

$$i_x = \frac{l_{ef,x}}{\lambda} = \frac{300}{100} = 3,0 \text{ см}; \quad i_y = \frac{l_{ef,y}}{\lambda} = \frac{600}{100} = 6,0 \text{ см}.$$

За сортаментом рівнополічних кутиків приймаємо елемент складеного таврового перерізу із парних кутиків $2 \perp 140 \times 10$, $A = 27,33 \cdot 2 = 54,66 \text{ см}^2$, $i_x = 4,33 \text{ см}$, $i_y = 6,19 \text{ см}$.

Перевіряємо підібраний переріз:

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{300}{4,33} = 69,3; \quad \lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{600}{6,19} = 96,93; \quad \varphi = 0,5635.$$

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{640,992}{0,5635 \cdot 54,66} = 20,81 < 24 \cdot 0,95 = 22,8 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Гранична гнучкість згідно з табл. 19* [2] при

$$\alpha = \frac{N}{\varphi \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{640,992}{0,5635 \cdot 54,66 \cdot 24 \cdot 0,95} = 0,913$$

дорівнює $\lambda_u = 180 - 60 \cdot \alpha = 180 - 60 \cdot 0,913 = 125,22 > \lambda_y = 96,93$.

Переріз стояка підбираємо по максимальному зусиллю: $N_{cm} = -129,18 \text{ кН}$, $l_{ef,x} = 0,8 \cdot 315 = 252 \text{ см}$; $l_{ef,y} = 315 \text{ см}$, $\gamma_c = 0,8$.

Попередньо приймаємо гнучкість $\lambda = 150$ і $\varphi = 0,276$.

Потрібні геометричні характеристики перерізу:

$$A_n = \frac{N}{\varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{129,18}{0,276 \cdot 24 \cdot 0,8} = 24,38 \text{ см}^2;$$

$$i_x = \frac{l_{ef,x}}{\lambda} = \frac{252}{150} = 1,68 \text{ см}; \quad i_y = \frac{l_{ef,y}}{\lambda} = \frac{315}{150} = 2,1 \text{ см}.$$

Приймаємо $2 \perp 70 \times 10$, $A = 13,11 \cdot 2 = 26,22 \text{ см}^2$, $i_x = 2,10 \text{ см}$,

$i_y = 3,42 \text{ см}$.

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{252}{2,10} = 120,0; \quad \lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{315}{3,42} = 92,11; \quad \varphi = 0,419.$$

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{129,18}{0,419 \cdot 26,22} = 11,76 < 24 \cdot 0,8 = 19,2 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Гранична гнучкість згідно з табл. 19* [2] при

$$\alpha = \frac{N}{\varphi \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{129,18}{0,419 \cdot 26,22 \cdot 24 \cdot 0,8} = 0,6124$$

дорівнює $\lambda_u = 210 - 60 \cdot \alpha = 210 - 60 \cdot 0,6124 = 173,26 > \lambda_y = 120,0$.

Переріз опорного розкосу підбираємо по зусиллю:

$N_{op} = -455,948 \text{ кН}$, коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 0,95$.

Розрахункова довжина $l_{ef,x} = l_{ef,y} = \sqrt{315^2 + 280^2} = 421,4 \text{ см}$;

попередньо беремо гнучкість $\lambda = 120$ і за табл. 72. [2] визначаємо $\varphi = 0,419$.

Потрібні геометричні характеристики перерізу:

$$A_n = \frac{N}{\varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{455,948}{0,419 \cdot 24 \cdot 0,95} = 47,73 \text{ см}^2;$$

$$i_x = i_y = \frac{l_{ef}}{\lambda_u} = \frac{421,4}{120} = 3,51 \text{ см}.$$

За сортаментом рівнополічних кутиків беремо $2 \perp 140 \times 10$, $A = 27,33 \cdot 2 = 54,66 \text{ см}^2$, $i_x = 4,33 \text{ см}$, $i_y = 6,19 \text{ см}$. Перевіряємо підібраний переріз:

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{421,4}{4,33} = 97,3; \quad \lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{421,4}{6,19} = 68,1; \quad \varphi = 0,561.$$

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{455,948}{0,561 \cdot 54,66} = 14,87 < 24 \cdot 0,95 = 22,8 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

При $\alpha = \frac{14,87}{22,8} = 0,6522$ гранична гнучкість дорівнює

$$\lambda_u = 180 - 60 \cdot \alpha = 180 - 60 \cdot 0,6522 = 140,87 > \lambda_y = 97,3.$$

Переріз стиснених розкосів при максимальному зусиллі:

$N_{cp} = -181,49 \text{ кН}$, геометрична довжина $l = \sqrt{315^2 + 300^2} = 435,0 \text{ см}$;

$l_{ef,y} = 435 \text{ см}$, $\gamma_c = 0,8$. $l_{ef,x} = 0,8 \cdot l = 0,8 \cdot 435 = 348 \text{ см}$.

Беремо гнучкість $\lambda = 130$ і $\varphi = 0,364$:

$$A_n = \frac{181,49}{0,364 \cdot 24 \cdot 0,8} = 25,97 \text{ см}^2;$$

$$i_x = \frac{l_{ef,x}}{\lambda} = \frac{348}{130} = 2,68 \text{ см}; \quad i_y = \frac{l_{ef,y}}{\lambda} = \frac{435}{130} = 3,35 \text{ см}.$$

Приймаємо $2 \perp 100 \times 7$, $A = 13,8 \cdot 2 = 27,60 \text{ см}^2$, $i_x = 3,08 \text{ см}$,
 $i_y = 4,52 \text{ см}$.

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{348}{3,08} = 112,99; \quad \lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{435}{4,52} = 96,2; \quad \varphi = 0,4603.$$

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{181,49}{0,4603 \cdot 27,6} = 14,3 < 24 \cdot 0,8 = 19,2 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

При $\alpha = \frac{14,3}{19,2} = 0,7448$ гранична гнучкість дорівнює

$$\lambda_u = 210 - 60 \cdot \alpha = 210 - 60 \cdot 0,7448 = 165,31 > \lambda_y = 112,99.$$

Переріз розтягнутих розкосів при максимальному зусиллі:
 $N_{pp} = 315,686 \text{ кН}$, геометрична довжина $l = \sqrt{315^2 + 300^2} = 435,0 \text{ см}$;
 коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 0,95$, гранична гнучкість $\lambda_u = 400$.

$$A_n = \frac{315,69}{24 \cdot 0,95} = 13,85 \text{ см}^2.$$

За сортаментом приймаємо $2 \perp 63 \times 6$:

$$A = 7,28 \cdot 2 = 14,56 \text{ см}^2, \quad i_x = 1,93 \text{ см}, \quad i_y = 3,06 \text{ см}.$$

Перевіряємо підібраний переріз:

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{435}{1,93} = 225,39 < \lambda_u = 400;$$

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} = \frac{315,69}{14,56} = 21,68 < 24 \cdot 0,95 = 22,8 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Після підбору і перевірки взятих перерізів необхідно розрахувати кожний вузол ферми. Такий розрахунок зводиться до визначення розмірів фасонки і зварних швів, що закріплюють стержні на вузлових фасонках. Для стержневих елементів ферми застосована сталь С245 для фасонки – С255.

Розрахунок вузлів ферми

При розрахунку вузлів ферми визначають розміри зварних швів і призначають габарити фасонки з таким розрахунком, щоб на них розміщувались всі зварні шви стержнів. Зусилля, яке діє в стержні, передається на обушок і перо кутика не однаково, так як ось стержня зміщена в сторону обушка. Таким чином, на шов у обушка

передається більша частина сили, ніж на шов у пера. Для рівнополічних кутиків розподілення сили N приймається так: на обушок $0,7N$, на перо $0,3N$. При розрахунку потрібно призначити катети зварних швів і знайти їх довжини. По обушку катет шва $k_{f,об} \leq 1,2t$ (t – найменша товщина полочки кутика або фасонки). Для пера $k_{f,n} = t - (1 \dots 3)$ мм. Оскільки $\beta_f \cdot R_{wf} < \beta_z \cdot R_{wz}$, тому менш благоприємним розрахунковим випадком є розрахунок за металом шва, а за перерізом по металу межі сплавлення перевірку роботи немає потреби.

Довжину зварного шва на один кутик визначаємо за формулами:

а) довжина швів по обушку за металом шва:

$$l_w^{об} = \frac{0,7 \cdot N}{2 \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c} + 1 \text{ см};$$

б) довжина швів по перу за металом шва:

$$l_w^n = \frac{0,3 \cdot N}{2 \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c} + 1 \text{ см}.$$

Для дроту СВ-08А: $R_{wf} = 180 \text{ МПа}$; $\beta_f = 0,7$; $\gamma_{wf} = 1,0$; $\gamma_c = 1,0$.

Товщину фасонки приймаємо на 2 мм більшу товщини підбраного кутика: $\delta = 10 + 2 = 12 \text{ мм}$.

Результати розрахунків за вищезазначеними формулами наведені у табл. 4.9.

Таблиця 4.9

Результати розрахунків довжини зварних швів

Назва елемента	Довжина зварних швів, см	
	по обушку	по перу
Верхній пояс	18,8	10,54
Нижній пояс	18,6	10,42
Опорний розкос	13,66	7,78
Стиснені розкоси	9,4	5,3
Розтягнуті розкоси	15,6	8,5
Стояки	4,6	2,9

Розрахунок монтажного стику ферми

В наведеному прикладі кроквяна ферма складається з двох відправочних монтажних марок довжиною 12 м, які з'єднуються між собою формують монтажний стик. Для уніфікації відправочних марок стик повинен бути повністю симетричним. Для забезпечення необхідної жорсткості при транспортуванні стик конструюється з додатковим вертикальним стояком із нульовим зусиллям.

Зусилля в елементах верхнього поясу $N_n = -640,99 \text{ кН}$.

Ширину кожної з накладок треба приймати на 15...20 мм більшою за ширину полиці кутика:

$$b_n = b_{\text{кут}} + 20 \text{ мм} = 140 + 20 = 160 \text{ мм}.$$

Товщину накладки приймаємо $t_n = 10 \text{ мм}$.

Напруження в підібраному перерізі:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{1,2 \cdot N_n}{2 \cdot b_n \cdot t_n + 2 \cdot b_{\text{кут}} \cdot t_{\phi}} = \frac{1,2 \cdot 640,99}{2 \cdot 16 \cdot 1 + 2 \cdot 14 \cdot 1,2} = 11,73 \text{ кН/см}^2 < R_y \cdot \gamma_c = \\ &= 24 \cdot 0,95 = 22,8 \text{ кН/см}^2.\end{aligned}$$

Довжина горизонтальної накладки l_n призначається за умови розміщення зварних швів, якими вони кріпляться до горизонтальних полиць поясних кутиків. Зусилля, що сприймаються швами з одного боку від стику, визначаються за несучою здатністю цих накладок:

$$N_1 = 2 \cdot b_n \cdot t_n \cdot R_y \gamma_c = 2 \cdot 16 \cdot 1 \cdot 24 \cdot 0,95 = 729,6 \text{ кН}.$$

Тоді сумарна довжина швів при катеті шва $k_{f1} = 0,8 \text{ мм}$:

$$l_{w1} = \frac{N_1}{2 \cdot \beta_f \cdot k_{f1} \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} + 4 \text{ см} = \frac{729,6}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 18 \cdot 0,95} + 4 \text{ см} = 42 \text{ см}.$$

Одержана величина l_{w1} розподіляється порівну між двома поясними кутиками, ці шви розташовуються по перу кутика, вперек горизонтальної полиці тільки для стиснутих поясів, та по скосах накладок. Приймаємо два шви довжиною (25+5+12) см.

Розрахункове зусилля для кріплення поясних кутників до вертикальної фасонки приймається як більше з двох значень:

$$N_2 = 1,2 \cdot N_n - N_1 = 1,2 \cdot 640,99 - 729,6 = 39,6 \text{ кН};$$

$$N_2 = 0,5 \cdot 1,2 \cdot N_n = 0,5 \cdot 1,2 \cdot 640,99 = 384,6 \text{ кН}.$$

Шви, що сприймають ці зусилля, розміщують по перу катетом шва $k_{fn} = 0,6$ см, та по обушку $k_{f,об} = 0,8$ см у вирізі горизонтальної накладки:

$$l_{w2}^{об} = \frac{N_2 \cdot \frac{(b_{кум} - z_0)}{b_{кум}}}{2 \cdot \beta_f \cdot k_{f,об} \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} + 1 \text{ см} = \frac{384,6 \cdot \frac{(14 - 3,82)}{14}}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 18 \cdot 0,95} + 1 = 15,6 \text{ см};$$

$$l_{w2}^n = \frac{N_2 \cdot \frac{z_0}{b_{кум}}}{2 \cdot \beta_f \cdot k_{f,n} \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} + 1 \text{ см} = \frac{384,6 \cdot \frac{3,82}{14}}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 18 \cdot 0,95} + 1 = 8,3 \text{ см}.$$

Товщина вертикальних накладок приймається не меншою за товщину фасонки $t_{\phi} = t_{\phi} = 12$ мм. Ширину вертикальних накладок приймають з урахуванням необхідності розміщення монтажних болтів, які, як правило, приймаються М20 з діаметром отвору 22 мм, та зазором між напівфасонками 20 мм:

$$b_{\phi n} = 2 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot d + 20 \text{ мм} = 2 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 22 + 20 = 152 \text{ мм}, \quad \text{приймається}$$

$b_{\phi n} = 160$ мм. Довжина вертикальних накладок $h_{\phi n}$ приймається за більшим із значень, одержаних за наступними умовами:

– включення фасонки в роботу стику

$$h_{\phi n} \geq 2b_{кум} = 2 \cdot 140 = 280 \text{ мм};$$

– з конструктивних міркувань $h_{\phi n} \geq 250$ мм;

– за розміщенням зварних швів, що прикріплюють вертикальні накладки до напівфасонок

$$h_{\phi n} = \frac{N_2}{2 \cdot \beta_f \cdot k_{f3} \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} + 1 \text{ см} = \frac{384,6}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 18 \cdot 0,95} + 1 \text{ см} = 21,1 \text{ см}.$$

Остаточню беремо довжину вертикальних накладок 280 мм. Монтажник стик нижнього пояса розраховується так само.

4.3 Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи

1. Навести складові частини колони, які визначаються за своїм призначенням.
2. Яку основну умову необхідно виконувати в ході підбору перерізу колони і чому.
3. Який мінімальний зазор необхідно забезпечувати між полицями гілок наскрізних колон і для чого.
4. За якими формулами виражається залежність радіуса інерції від типу перерізу (пояснити значення символів).
5. Як залежить необхідна площа перерізу суцільної колони від розрахункового зусилля (навести формулу розрахунку).
6. Формула розрахунку напружень в суцільних колонах.
7. Що означає коефіцієнт φ^{\min} , від чого він залежить.
8. За якою формулою проводиться перевірка стійкості наскрізної колони (навести формулу розрахунку, пояснити символи).
9. Як класифікуються бази колон за конструктивним рішенням.
10. Призначення анкерів при влаштуванні баз колон. Від чого залежить вибір діаметра анкера.
11. Охарактеризуйте конструктивні рішення світлових та світлоаераційних ліхтарів у виробничих будівлях.
12. Сформулюйте основні принципи компоновання каркасів виробничих будівель.
13. Як впливають вимоги до жорсткості каркаса на конструктивне рішення?
14. Назвіть основні функції та призначення в'язей каркаса.
15. Поясніть принципи конструювання і основи розрахунку в'язей.
16. Як на основі конструктивної схеми рами формується її розрахункова схема?
17. Які спрощення і в яких випадках використовують при розрахунках поперечних рам?
18. Назвіть види навантажень та охарактеризуйте їх дію на каркас будівлі.
19. У яких випадках доцільно виконувати жорстке або шарнірне з'єднання ригеля з колонами рами?

РОЗДІЛ 5. ПРИКЛАДИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЕЯКИХ СКЛАДНИХ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Даний розділ складений для студентів напряму «Будівництво», які вивчають дисципліну «Комп'ютерні технології проектування спеціальних конструкцій будівель та споруд», також може бути корисним при вивченні дисциплін «Основи САПР», «Комп'ютерні технології в будівництві» та аспірантам, для виконання деяких дослідницьких задач.

До спеціальних металевих конструкцій можна віднести вантові конструкції, мембранні конструкції, всячі покриття, резервуари, висотні інженерні споруди (щогли, башти, антени), мости та багато інших. В цьому розділі автори зробили спробу надати деякі рекомендації по автоматизованому розрахунку найбільш поширених у будівельної практиці конструкцій.

Характерною особливістю розглянутих у цьому розділі конструкцій є істотна нелінійність їх роботи. Це обумовлює неможливість розрахунку окремо на кожне навантаження з подальшим об'єднанням зусиль у розрахункові сполучення зусиль. У цьому випадку потрібен розрахунок на окреме поєднання навантажень (наприклад, власна вага + сніг на половині конструкції; власна вага + сніг на всій конструкції + вітер і т.д.), при цьому розрахунок на поєднання експлуатаційних навантажень повинен починатися не з «нульового стану», коли напруження, деформації і зусилля відсутні, а від стану, яка утворилася в результаті формоутворення вантової сітки, коли напруження і деформації в основному обумовлені попереднім натягом можуть досягати значних величин. Для моделювання попереднього натягу в ПК ЛРА-САПР був реалізований спеціальний геометрично нелінійний кінцевий елемент № 308 «фаркопф», який застосовується при розрахунках конструкцій щогл, вантових та інших конструкцій, де використовується попередній натяг (див. приклад розрахунку щогли).

При моделюванні опорного контуру, як правило, також використовуються нелінійні скінченні елементи, оскільки всячі конструкції дуже чутливі до зміни геометрії опорного контуру

5.1. Конструктивні схеми великопрольотних покриттів

5.1.1. Вантові і мембранні конструкції. Загальні положення

Використання методу скінченних елементів (МСЕ) при розрахунках вантових і мембранних конструкцій присвячена досить велика кількість робіт і чергове перерахування їх, напевно, не має сенсу.

30000

Основні проблеми при розрахунках таких конструкцій за допомогою МСЕ:

- чисельна і практична реалізація попереднього напруження;
- врахування впливу жорсткості опорних контурів на напружений стан канатних елементів (опорний контур часто приймається як абсолютно жорсткий);
- використання криволінійних елементів (нитки моделюються прямолінійними елементами);
- врахування розрахунків на стійкість опорних конструкцій.

Вантові системи зазвичай є основою для подальшого зведення висячих оболонок. Досить широко поширеними є конструкції, що утворені навішуванням на вантову сітку залізобетонних плит з

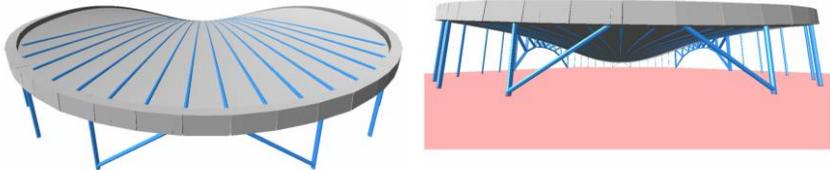


Рис. 5.1. Чисельна модель стадіону з мембранним покриттям

подальшим замонолічуванням [4]. На експлуатаційні навантаження вже працює висяча залізобетонна оболонка. Для розрахунку такої конструкції необхідно наявність скінченних елементів оболонки, які враховують геометрично та фізично нелінійні фактори одночасно. Сталеві мембрани великих прогонів, як правило, створюються на основі системи сталевих смуг, що навішуються на контур. З позицій комп'ютерного моделювання процес формоутворення мембрани на основі системи смуг аналогічний моделюванню формоутворення вантових систем. Для розрахунку

мембрани на експлуатаційні навантаження застосовується геометрично нелінійний елемент мембрани, який відрізняється від скінченних елементів висячої оболонки тим, що сприймає тільки мембранну групу зусиль. З точки зору розрахунку тентові покриття аналогічні мембранам.

Висячі конструкції покриттів відносяться до найефективніших конструктивних рішень для великопрогонових будівель. Історія висячих покриттів почалася в 1895 р., коли російський інженер В.Г. Шухов зробив заявку на патент на винахід «сітчастих систем» для покриттів будівель.

Основною ідеєю запропонованого В.Г. Шуховим сітчастого покриття було використання замість плоских несучих конструкцій (ферм або балок) системи однотипних елементів, що перетинаються між собою. На рис. 5.1 приведена модель конструкції стадіону з мембранним покриттям. Розміри цієї конструкції 160 x 210 м, товщина мембрани – 6 мм. В цієї моделі сталезалізобетонний опорний контур потрібно моделювати стержневими скінченними елементами, що враховують як геометричну, так і фізичну нелінійність, що дозволяє найбільш точно визначити напружено-деформований стан всієї просторової конструкції, оскільки крім розрахунку опорного контуру за деформованою схемою (геометрична нелінійність) враховуються додаткові деформації від нелінійних властивостей матеріалу (фізична нелінійність).

Після отримання патенту В.Г. Шуховим були побудовані декілька будівель з різними типами сітчастих покриттів.

5.1.2. Моделювання каркасної будівлі з висячим сітчастим покриттям

Для дослідження роботи покриття, скомпонованого за системою В.Г. Шухова, був проведений розрахунок каркасної будівлі з висячим покриттям над круглим планом (рис.5.2). Висяче сітчасте покриття підвішене між внутрішнім і зовнішнім опорними контурами. Діаметр зовнішнього контуру $D=90\text{м}$, діаметр внутрішнього контуру $d=30\text{м}$. Умовна схема розташування колон і опорних контурів приведена на рис. 5.3. Центральна частина будівлі перекрита куполом, який по компоновальній схемі є сітчастою оболонкою обертання.

На першому етапі моделювання необхідно згенерувати колони і опорні контури. Виконати це можна різними способами, наприклад, для створення опорних контурів краще скористатися інструментом **Добавить узел** (закладка (у програмному комплексі **По окружности**)). Далі, створивши одну колону за допомогою інструменту **Добавить элемент**, можна виконати її копіювання поворотом.

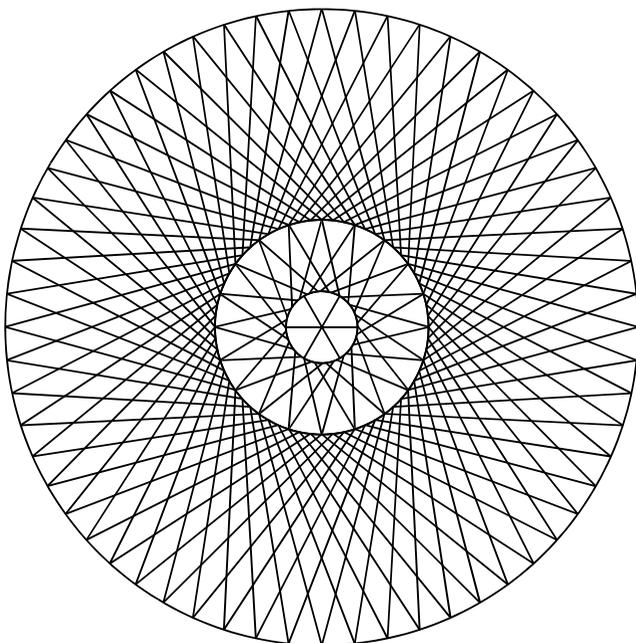
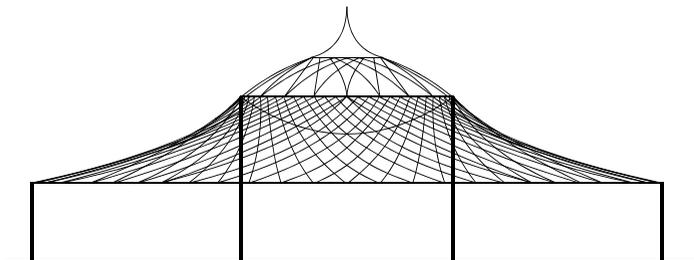


Рис. 5.2. Конструктивна схема сітчастого покриття будівлі на круглому плані

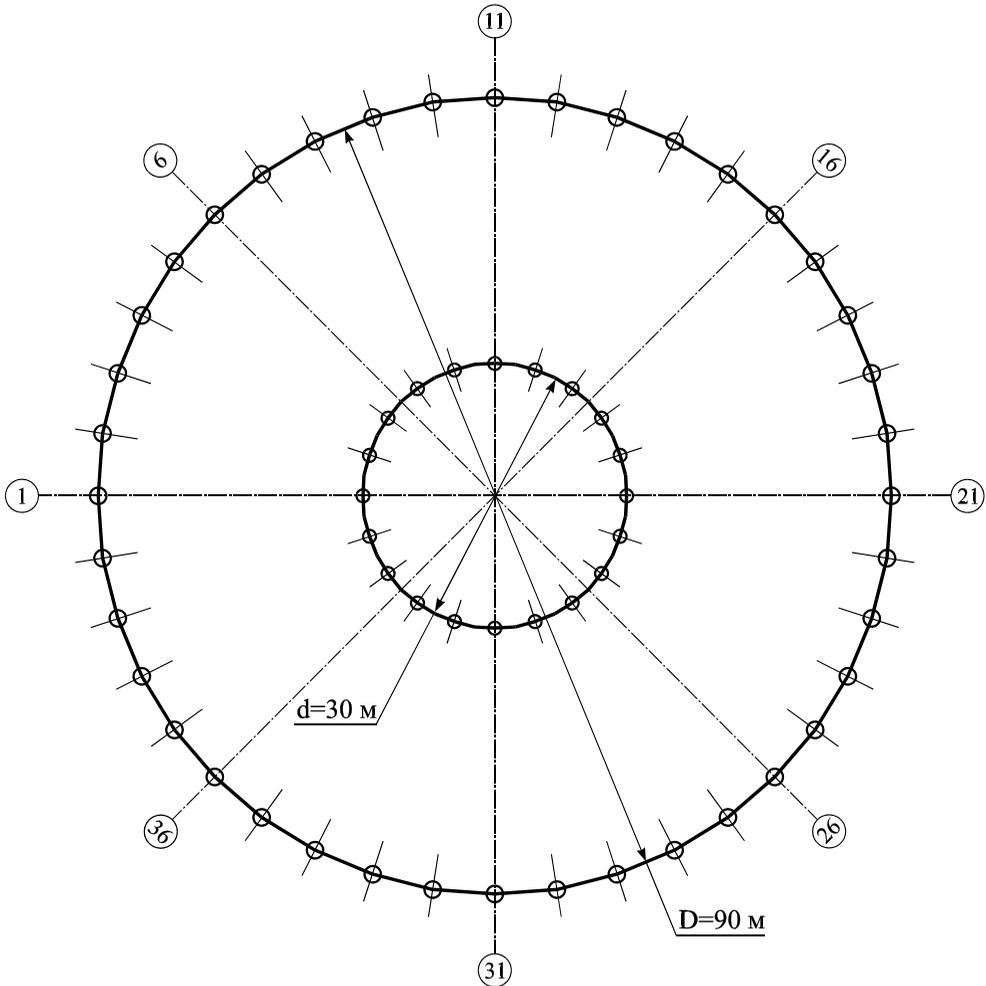


Рис. 5.3. Умовна схема розташування колон і опорних контурів



При створенні розрахункових схем, у яких конструкції мають радіальне розташування, рекомендується геометричний центр розрахункової схеми в площині XOY поєднувати з початком глобальної системи координат ($X=0, Y=0$).

Розрахункова схема на момент створення колон і опорних контурів приведена на рис. 5.4.

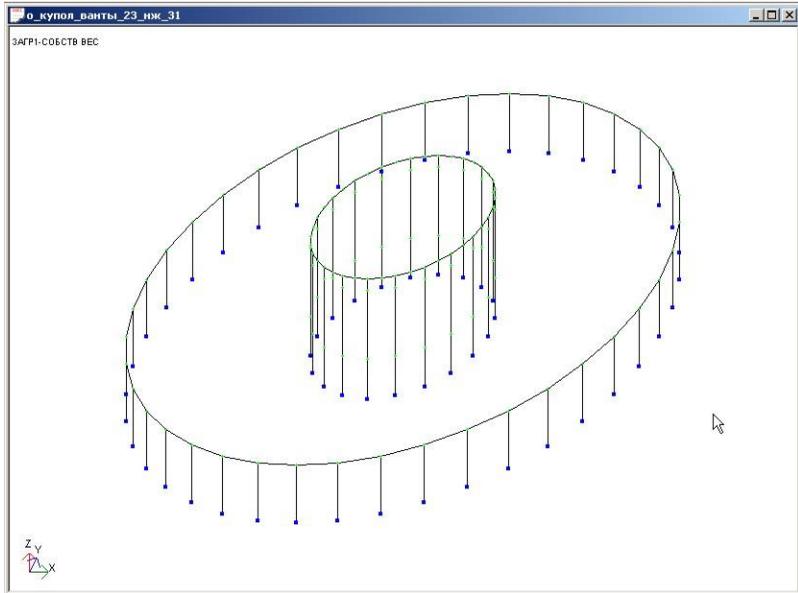


Рис. 5.4. Розрахункова схема після створення колон і опорного контуру

Розглянемо детальніше створення сітчастого покриття. Відфрагментуйте опорні контури і переведіть розрахункову схему в площину $ХОУ$. Створимо одну нитку покриття за допомогою інструменту **Добавить элемент**. Для цього при активній першій закладці **Добавить стержень** і виставленому прапорці **Указать узлы курсором** з'єднаєте вузли зовнішнього і внутрішнього контуру таким чином, щоб утворилася нитка, що йде від колони по осі «1» вгору (за напрямом осі Y). Далі створіть всі нитки, які перетинають першу. Вид розрахункової схеми після виконання даних дій приведений на рис. 5.5.

Розрахунок всяких конструкцій необхідно проводити з врахуванням геометричної нелінійності, тому змінимо тип скінченного елемента для ниток. Виділіть нитки і виконайте в меню **Схема ⇒ Корректировка ⇒ Смена типа конечного элемента**. На другій закладці в списку діалогового вікна, що з'явилось, виділіть рядок **Тип 310 геометрически нелинейный универсальный пространственный стержневой КЭ (нить)**, натисніть кнопку **Применить**.

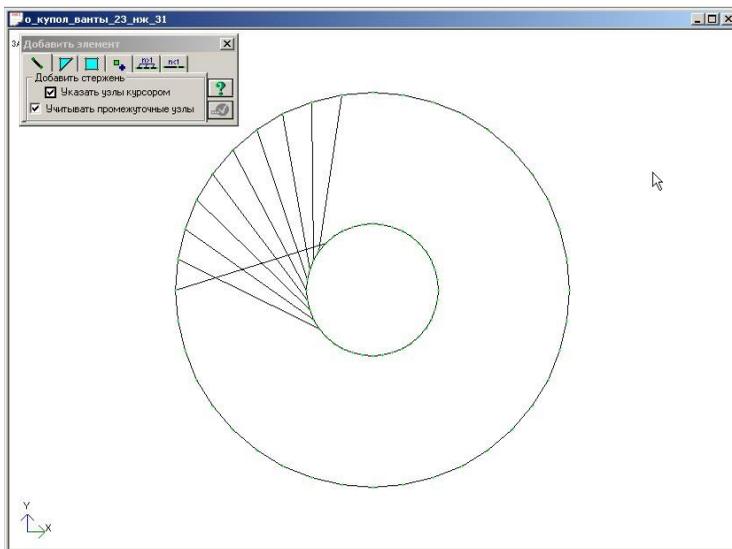


Рис. 5.5. Розрахункова схема після створення перших ниток.

Розділимо першу нитку на скінченні елементи відповідно до перетину її з іншими нитками. Створіть два блоки: з першої нитки і з усіх інших. Для цього необхідно виділити елементи і їх вузли, а

потім натиснути кнопку інструменту **Создать блок** . Виділіть створені блоки і натисніть кнопку **Пересечь выбранные блоки**

. Видаліть всі нитки окрім першої. Створіть з першої нитки блок. Згенеруємо решту ниток. Виділіть першу нитку, натисніть

кнопку **Копировать выбранные объекты** . На закладці «Копирование поворотом» виставите радіо-кнопку параметра **Вокруг оси** в значення Z, задайте $F_i=9^\circ$, $N=39$, натисніть кнопку **Применить**. Розрахункова схема прийме вигляд як на рис. 5.6.

Виділіть всі нитки, використовуючи інструмент **Полифильтр**: у діалоговому вікні перейдіть на другу закладку **Фильтр для элементов**, встановіть прапорець для параметра **По типу КЭ**, у спадаючому списку виберіть **Тип 310 – ...**, натисніть кнопку **Применить**. У діалоговому вікні **Копирование объектов** перейдіть на закладку **Копирование симметрично**, встановіть радіо-кнопку параметра **Относительно плоскости** в значення

XOZ, натисніть кнопку **Применить**. Упакуйте схему. Схема прийме вигляд як на рис. 5.7.

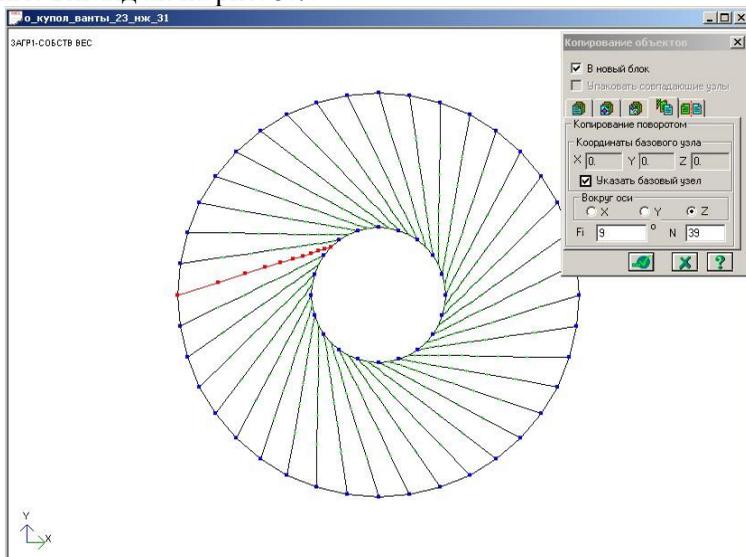


Рис. 5.6. Розрахункова схема після створення половини ниток сітчастого покриття.

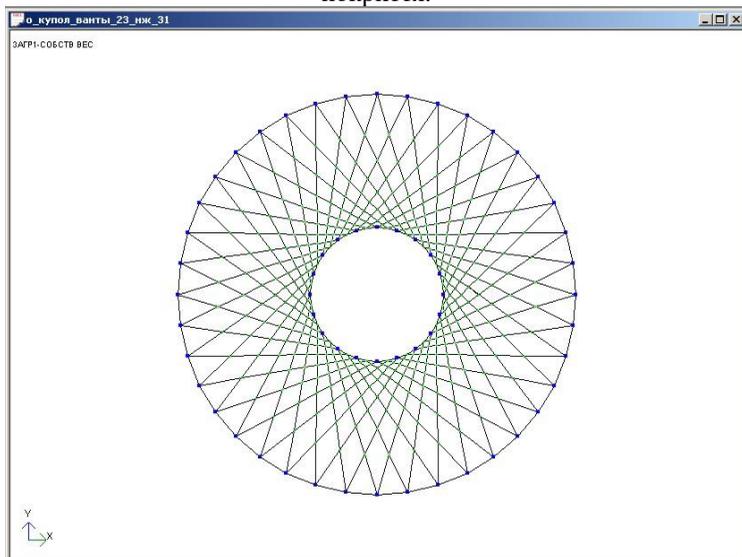


Рис. 5.7. Розрахункова схема сітчастого покриття

Задамо жорсткість ниткам. Викличте діалогове вікно **Жесткости элементов**, на третій закладці виберіть **КЭ 310 (нить)**. У діалозі **Численное описание КЭ 310 (нить)** встановите радіо-кнопку параметра **Способ задания сечения** в значення **Сортамент**. Після цього з'явиться стандартне діалогове вікно **Стальное сечение**, в якому виберіть **Сортамент**, – **ЛК-РО 6х36(1+7+7/7+14)+7х7(1+6), Профиль – 41**. Натисніть кнопки **ОК** і **Подтвердить**.

Задання геометрії розрахункової схеми завершується створенням куполу. Повна розрахункова схема приведена на рис. 5.8. На нижні вузли колон накладені зв'язки по всіх 6 напрямках.

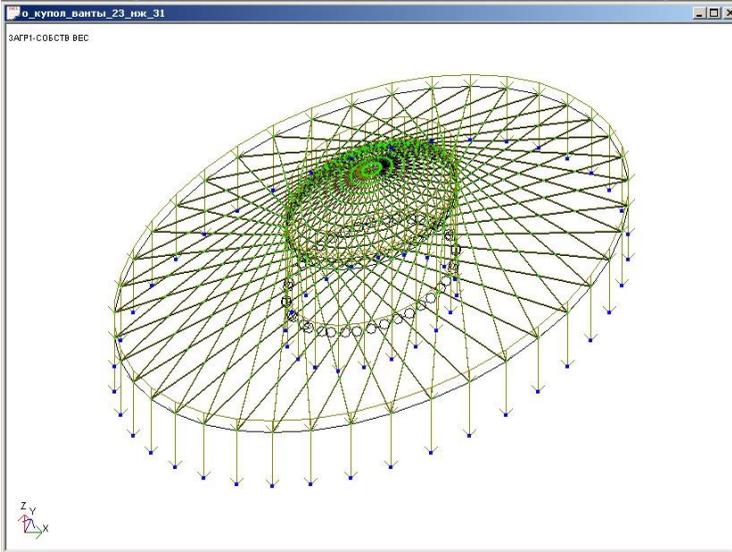


Рис. 5.8. Розрахункова схема після створення центрального куполу.

Всі навантаження, що діють на каркас, були розділені на наступні завантаження:

- власна вага конструкцій;
- постійне навантаження від ваги огорожувальних конструкцій;
- снігове навантаження, розподілене по всій площі покриття;
- снігове навантаження, розподілене по половині покриття;
- вітрове навантаження, що впливає на конструкції покриття в період монтажу;

- вітрове навантаження, що впливає на конструкції каркаса в період експлуатації.

Розрахунок схем з використанням геометрично нелінійних скінченних елементів відрізняється від лінійного розрахунку. Замість розрахунку на всі завантаження з подальшим обчисленням розрахункових сполучень зусиль, виконується розрахунок на задану історію навантаження конструкції. Тому пошук найнесприятливіших сполучень зусиль для окремих елементів вимагає розрахунку схеми на декілька історій навантажень.

Формування історії навантаження здійснюється в діалоговому вікні, який викликається з меню **Нагрузки** ⇨ **Моделирование нелин. загруженный**. У даному діалоговому вікні необхідно визначити наступні параметри:

- **N загрузка** – номер завантаження, що включається в історію навантаження розрахункової схеми.
- **Учет предыстории** – прапорець виставляється, у випадку, якщо розрахунок схеми на навантаження від даного завантаження повинен виконуватись з врахуванням деформацій, одержаних від раніше заданих в історії завантажень. Необхідно встановлювати для всіх завантажень окрім першого.
- **Метод розрахунку** – для геометрично нелінійних конструкцій необхідно вибрати **Автоматический выбор шага**.

Інші параметри можна залишити без зміни. На рис. 5.9 приведений приклад заповнення таблиці **Моделирование нелин. загруженный** конструкції для одного з розрахованих варіантів історії навантаження. Тут задана історія від комбінації завантажень: власна вага конструкцій; постійне навантаження від ваги огорожувальних конструкцій; снігове навантаження розподілене по всій площі покриття; вітрове навантаження, що впливає на конструкції каркаса в період експлуатації.

Після виконання розрахунку на задану історію навантаження в режимі аналізу результатів можна скористатися всіма стандартними засобами. Як приклад на рис. 5.10. приведена деформована схема сітчастого покриття з відображенням мозаїк нормального зусилля N .

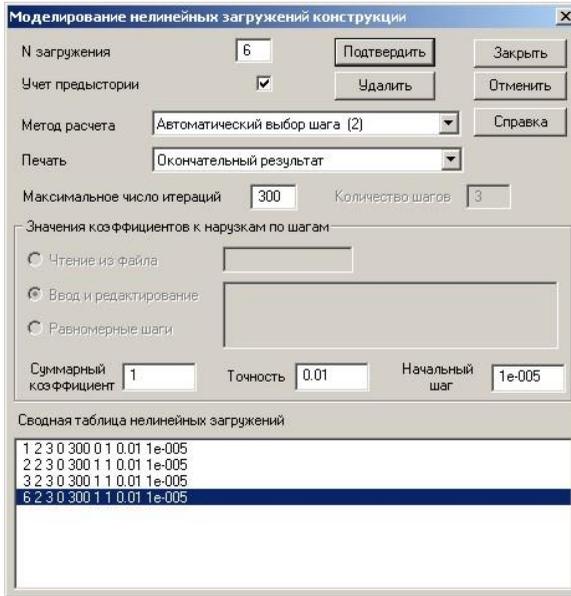


Рис. 5.9. Моделювання нелінійних завантажень конструкції

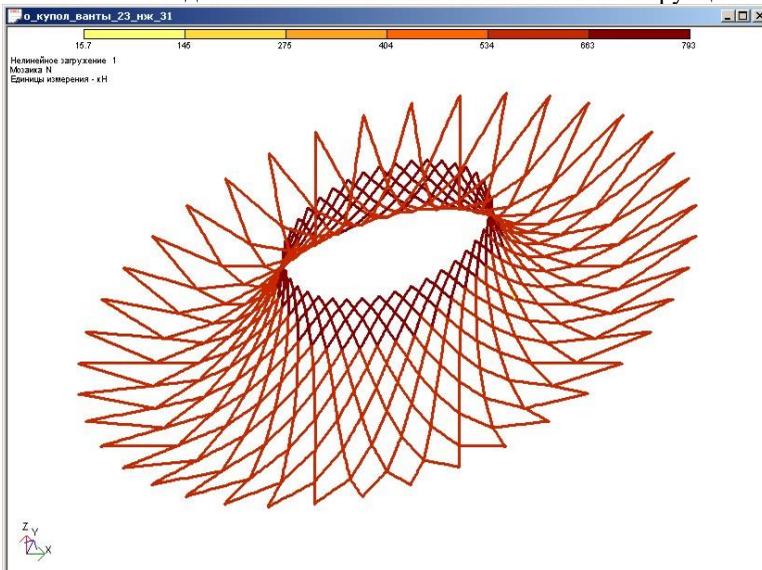


Рис. 5.10. Деформована схема сітчастого покриття з відображенням мозаїк нормального зусилля N.

5.2. Металоконструкції аروحного типу

5.2.1. Загальні положення

У даному розділі розглянуті принципи побудови розрахункових скінченно-елементних моделей простих аروحних металевих конструкцій, підбір їх перерізів, а також деякі супутні задачі.

Курсового проекту по розрахунку і проектуванню металевих аروحних конструкцій у вищих навчальних закладах не існує, проте, практика показує, що подібна задача з використанням САПР досить часто викликає деяке ускладнення. Що стосується безпосередньо учбового процесу, то розрахунок аروحних конструкцій — визначення напружено-деформованого стану і стійкості арок, виконуються на курсах дисциплін «Опору матеріалів» і «Будівельної механіки», а ознайомлення з принципами проектування входить в програму курсу «Металеві конструкції» та «Комп'ютерні технології проектування спеціальних конструкцій» [2, 3]. Окрім того, з подібною задачею студент може зіткнутися при виконанні дипломного проекту. Все це, на думку авторів, обґрунтовує введення в навчальний посібник даного розділу.

Розрахунок аروحних споруд розглядається з погляду зведення розрахунку просторової системи до розрахунку плоскої задачі, що і виконується в більшості курсових і дипломних проектів. Тим часом необхідно пам'ятати, що в такій постановці не враховуються деякі чинники, наприклад вітер на торці будівлі, який необхідно враховувати, перш за все, для високих арок.

5.2.2. Особливості задання геометрії скінченно-елементних моделей арок

Конструктивні форми арок, як правило, представляють собою модифікацію рамної конструкції, при якій її подовжня вісь наближається до кривої тиску, внаслідок чого різко знижується частка згинаючого моменту (а в деяких випадках її вдається звести до нуля) в роботі конструкції, що в свою чергу призводить до економії матеріалу.

Конструктивні схеми, розрахунок і принципи конструювання аروحних конструкцій приведені в [1 – 3, 10 і ін.]. Коротко виділимо

основні положення, які необхідні нам для опису варіацій задання початкових даних при побудові скінченно-елементних моделей.

Перш за все, як відомо, по статичній схемі арки можуть бути трьох типів: трьохшарнірні, двохшарнірні і безшарнірні (рис.5.11). Основні переваги і недоліки таких систем достатньо описані у вказаній літературі. Найпоширенішими є двохшарнірні, а трьохшарнірні, навпаки, практично не застосовуються в даний час.

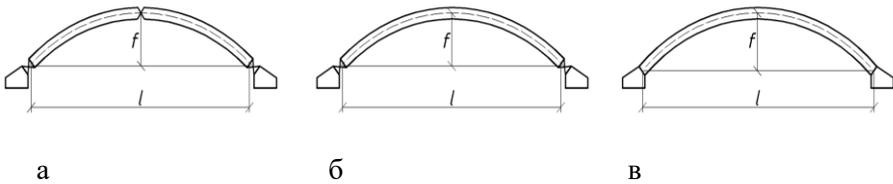


Рис.5.11. Схеми арок:
а — трьохшарнірна, б — двохшарнірна, в — безшарнірна

Генеральними розмірами арки є проліт l і стріла підйому f , а також висота перерізу арки h . Проліт і стріла підйому звичайно визначаються технологічними і архітектурними вимогами. Залежно від співвідношення стріли підйому f до прольоту l арки розділяють на пологі ($(f/l < 1/4 \dots 1/10)$) і високі (з високим підйомом, стрілчастими) ($(f/l \geq 1/4 \dots 1)$).

Високі арки — це, як правило, арки порівняльно невеликих прольотів 9 ... 60 м, а пологими арками перекриваються значні прольоти 70 ... 200 м. Контур арок можуть приймати різні форми (рис.5.12), виходячи, знову ж, з технологічних і архітектурних вимог. Так, наприклад, ародні конструкції складового двотаврового перерізу з об'ємно-формованою стінкою [10], виходячи з вимог уніфікації відправних елементів, прольотом 9 м виконуються стрілчастого контуру, прольотом 12 м — сегментного, прольотом 12 і 18 м — кругового, прольотом 21-30 м — овального.

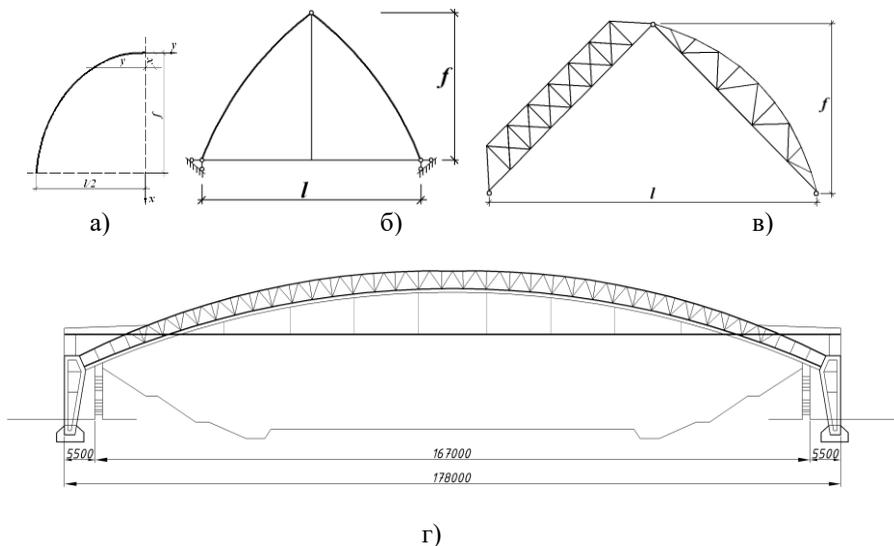


Рис.5.12. Деякі конструктивні схеми і контури арок:

- а) — ланцюгова лінія, б) — стрілочаста, в) — ґратчасті (бувають металеві і дерев'яні); г) — параболічна (ґратчаста із затягуванням)

Для пологих арок найвигіднішим контуром є квадратна парабола, яку для спрощення виготовлення і монтажу часто замінюють дугою кола. У високих арках параболу замінюють поєднанням дуг кіл різних діаметрів, а якнайкращою кривою вважається ланцюгова лінія (у літературі ще зустрічається як катеноїд [2, 3, 10]).

Для побудови скінченно-елементних моделей арок в ПК ЛІРА-САПР зручно використовувати інструмент **Добавить узел**, в якому на четвертій закладці передбачена функція додавання вузлів (із стержнями, якщо відповідна опція включена) по формулі, — за допомогою функції однієї змінної.

Крива арка, що викреслена по параболі описується рівнянням

$$y = \frac{4f}{\ell^2} x(x - \ell)$$

де ℓ — проліт; f — стріла підйому; x і y — поточні координати.

Це рівняння можливо ввести, використовуючи закладку діалогового вікна **Добавить узел – Формульный ввод**.

Аналогічним чином можна задати овальну або стрілчасту арку. Останню, що складається з декількох дуг, задають в декілька прийомів. Для задання кругової, сегментної, а також стрілчастої арки можна також скористатися третьою закладкою інструменту **Добавить узел**, де задання геометрії кола виділене в окрему опцію. При цьому важливо пам'ятати, що чим більшою кількістю скінченних елементів розбита криволінійна арка на багатокутник, тим точніше ми одержимо результати розрахунку.

Задання катеноїда виробляється за допомогою функції Ланцюгова лінія (рис.5.13) (пункт меню **Схема** ⇒ **Створення** ⇒ **Цепная линия...**). При цьому необхідно заздалегідь додати два вузли — точки опори, на які встановлюється ланцюгова лінія, геометрична форма якої описується за формулою

$$y = \frac{f}{a} \cdot ch\left(\frac{2x}{\ell}\right),$$

де ℓ — проліт; f — стріла підйому; x і y — поточні координати;

$$a = ch(1) - 1 \approx 0.5431$$

Після установки арки необхідно повернути або перемістити симетрично, оскільки задання катеноїда ланцюгової лінії передбачене в ПК ЛІРА-САПР стрілкою провисання вниз.

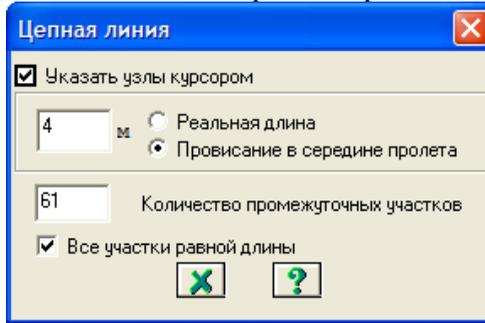


Рис.5.13. Задання ланцюгової лінії

Задання геометрії гратчастих арок відбувається у декілька етапів. Якщо арка складається з прямолінійних відправних елементів, то можна скористатися інструментом **Создание плоских ферм** (рис.5.14), згенерувати елемент арки, а потім функціями копіювання і переміщення з поворотом сформувати

повну модель. При криволінійних контурах поясів — послідовно інструментом **Добавить узел** генеруються верхній і нижній пояси, а потім функцією **Добавить элемент** формуються решітки. Елементи, яких не вистачає, можуть бути додані або по координатах або по заздалегідь доданих вузлах. І, навпаки, генерується схема, потім необхідний результат досягається видаленням «зайвих» вузлів і елементів.

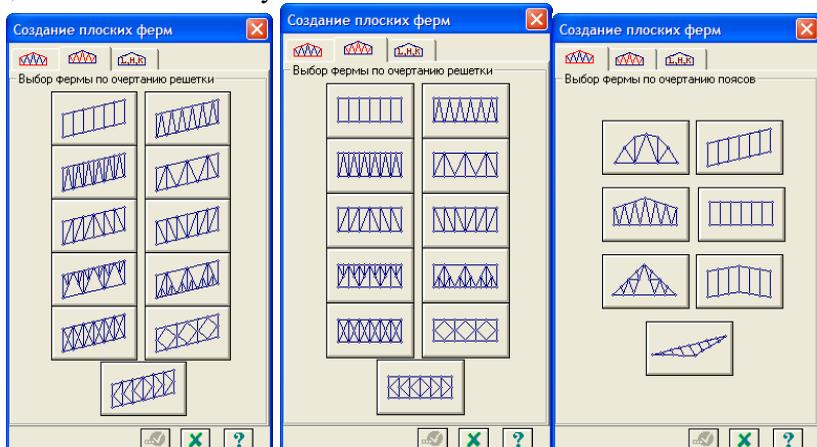


Рис.5.14. Інструментарій генерації плоских ферм

При формуванні розрахункової схеми арки також важливо пам'ятати, що схема симетрична, і тому, задавши її половину, можна скористатися функцією симетричного копіювання.

Запропоновані схеми задання геометрії арок є рекомендованими, при вирішенні конкретної задачі вони або можуть застосовуватись, або спеціаліст може знайти інший спосіб задання геометричної моделі.

5.2.3. Визначення вітрових і снігових навантажень

На арки діють вертикальні постійні (власна вага, вага покриття, вага освітлювальної апаратури, в деяких випадках вага провітропроводів і вентиляційного устаткування) і тимчасові навантаження (сніг, вітер, іноді у виробничих будівлях дія легких підвісних кранів). В особливих випадках арки розраховуються на очікувану різницю зсуву опор [10]. Також в класичній літературі з металевих конструкцій [8] указується про необхідність врахування

в арках, особливо пологих з розвиненим по висоті перерізом, температурних напружень, які можуть бути визначені скінченно-елементним розрахунком, або приблизно обчислені по формулах у МПа:

— у двохшарнірній арці: $\sigma = \pm 2,36 \cdot \Delta t \cdot h/f$;

— у безшарнірній арці: у прольоті $\sigma = \pm 4,72 \cdot \Delta t \cdot h/f$;

на опорі $\sigma = \pm 9,44 \cdot \Delta t \cdot h/f$,

де Δt — зміна температури, $^{\circ}\text{C}$;

h/f — відношення висоти перерізу арки до стріли підйому.

При визначенні значень Δt можливо використати програму «Температурні кліматичні дії», що входить до складу програмного комплексу ЕСПРІ «Навантаження і дії».

Збір постійних і корисних навантажень наведений в безлічі прикладів і тому не розглядається в рамках даного розділу. Найбільший інтерес, на нашу думку, представляє збір вітрових навантажень, які особливе значення мають при розрахунках високих арок. Також слід надати увагу сніговим навантаженням, можлива несиметрична яких є вельми небезпечною для арочних конструкцій. Навантаження кранів достатньо велика рідкість для таких конструкцій і в рамках даного розділу не розглядаються.

У даному підрозділі будуть представлені можливості застосування програм «Вітрові навантаження» і «Снігові навантаження», що входять до складу програмного комплексу ЕСПРІ «Навантаження і дії» для визначення відповідних навантажень на арочні конструкції.

Програма «Вітрові навантаження»

Програма призначена для визначення вітрових навантажень на будівлі і споруди відповідно до ДБН. Обчислюються граничні і характеристичні значення середньої складової вітрового навантаження з урахуванням аеродинамічного коефіцієнта за схемами, представленими у відповідних таблицях нормативних документів (рис.5.15). Відповідно до ДБН визначаються граничні і експлуатаційні навантаження.

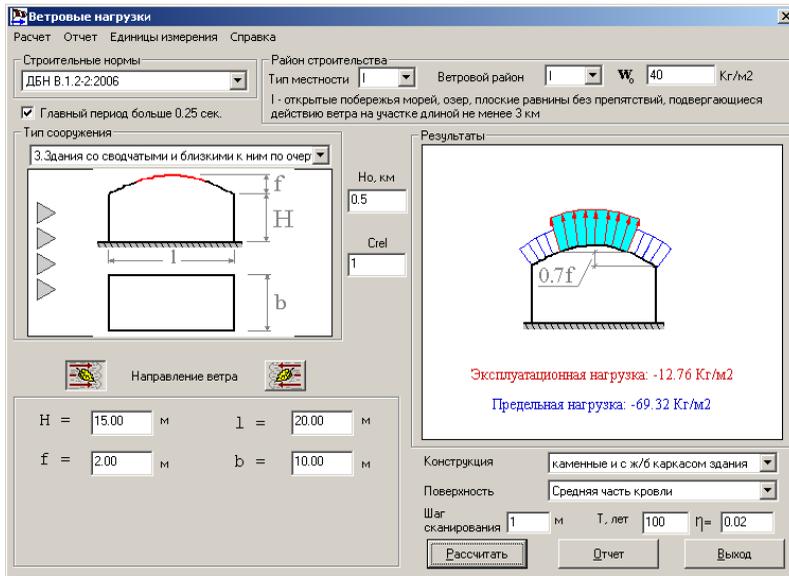


Рис.5.15. Програма «Вітрові навантаження»

Результаты обчислень відображаються на екрані в правій частині діалогового вікна в графічному вигляді з цифровими значеннями експлуатаційного і граничного вітрового навантаження. Результати можуть бути представлені у вигляді звіту, в якому містяться вхідні дані і результати розрахунку. Звіт представляється у вигляді HTML-файлу (рис.5.16).

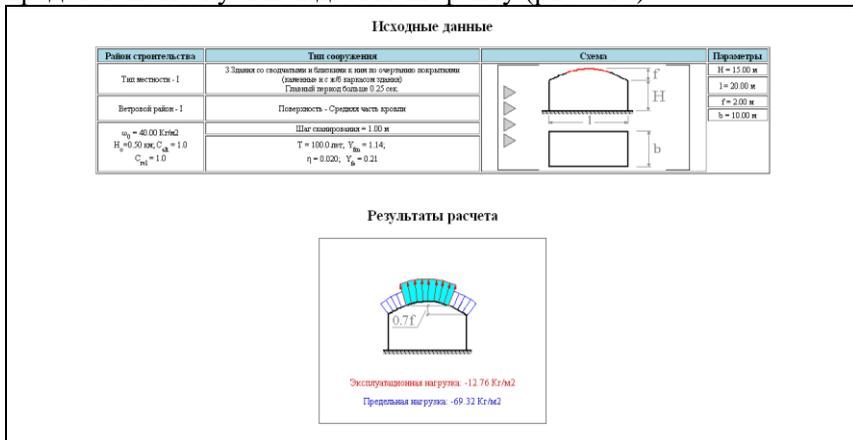


Рис.5.16. Приклад звіту, виконаного програмою «Вітрові навантаження»

Програма «Снігові навантаження»

Програма функціонально дуже схожа з програмою «Вітрові навантаження» (рис.5.17), тому детально розбиратися не буде.

Відзначимо, що норми [5] рекомендують «в тих випадках, коли найнесприятливіші умови роботи елементів конструкції виникають при частковому завантаженні, слід розглядати схеми зі сніговим навантаженням на половині прольоту...», що необхідно виконувати при розрахунках арочних конструкцій. На рис.5.18 показані результати визначення снігових навантажень при двох варіантах.

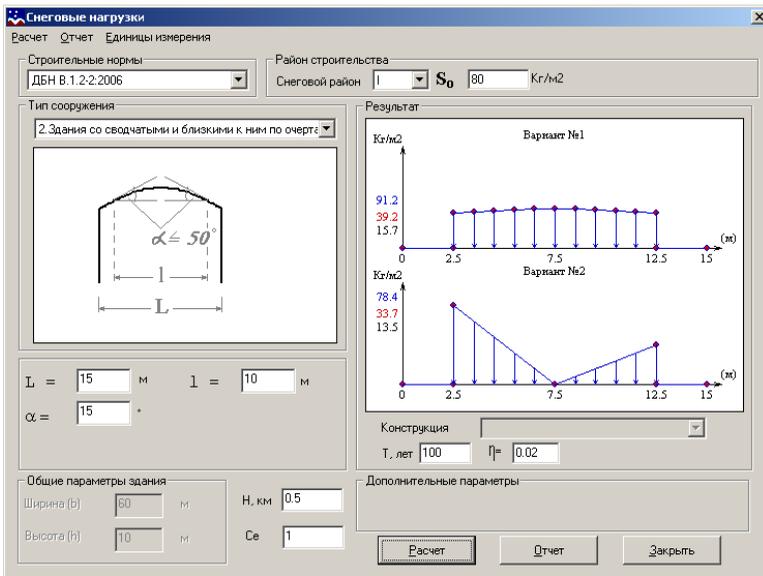


Рис.5.17. Варианты снігового навантаження

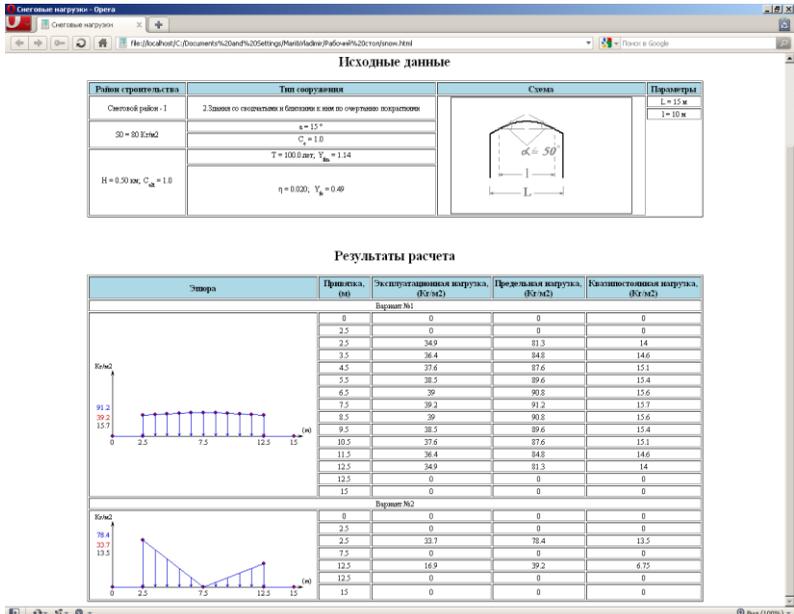


Рис.5.18. Приклад звіту, виконаного програмою «Снігові навантаження»

5.2.4. Розрахункова схема арки, визначення зусиль і їх розрахункових поєднань

Після збору навантажень і задання геометрії арки, відповідно до плану роботи над розрахунковою схемою і послідовністю задання вхідних даних виконуємо всі необхідні процедури. Щоб не перенавантажувати посібник однією і тією ж інформацією в кожному розділі, зазначимо, що формування і призначення жорсткостних параметрів елементам розрахункової схеми для сталевих конструкцій є ідентичним і детально розглянуто в розділах 2, 3. Призначення граничних умов у відповідних вузлах розрахункової схеми, задання навантажень у відповідних завантаженнях і формування таблиці розрахункових сполучень зусиль (у програмі РСУ) також в повному об'ємі можна знайти в розділі 5.

Відзначимо, що при попередньому призначенні перерізу сталевих арок в роботах [1,3, 8] рекомендується приймати при малих прольотах суцільний переріз висотою 1/50–1/80 прольоту, а

при прольотах більше 60 м — наскрізний переріз висотою 1/30–1/60 прольоту.

Особливістю розрахунку арочних конструкцій є прикладання навантажень від снігу і вітру. Для правильного прикладання навантажень на арку в розрахунковій схемі необхідно для кожного скінченного елемента виконувати перерахунок навантаження, помножуючи його на косинус кута нахилу до горизонту. Для полегшення задання таких навантажень в ПК ЛПА-САПР передбачено задання проєктивних рівномірно- і нерівномірно-розподілених навантажень на скінченні елементи.

Для задання в ПК ЛПА-САПР вітрового навантаження відповідно до рис.5.17 необхідно його прикладати до скінченних елементів не в глобальній, а в місцевій системі координат елемента.

5.2.5. Підбір або перевірка сталевого перерізу арки

Для підбору або перевірки перерізів елементів арочних конструкцій на основі розрахункових сполучень зусиль або розрахункових сполучень навантажень (див. підрозділ 1.16) використовується програма СТК-САПР. Детальне опрацювання технології роботи з СТК-САПР приведене в попередніх розділах 2, 3. Вкажемо лише на основні положення.

Оскільки в арках в більшості випадків виникають разом з нормальними силами згинаючі моменти, розрахунки на міцність і стійкість арок суцільного перерізу необхідно виконувати як для елементів, під дією осьової сили зі згином [2]. У СТК-САПР елементи, під дією осьової сили зі згином умовно позначені як тип елемента **Колона**. Об'єднання скінченних елементів, що створюють арку, в конструктивний елемент є неможливим, оскільки в СТК-САПР ця процедура передбачена тільки для прямолінійних стержнів (див. підрозділ 1.16). Тому розрахункову довжину в додаткових характеристиках для підбору або перевірки перерізів сталевих стержнів зручно задавати в метрах, а не коефіцієнтом до геометричної довжини елемента.

При наближеному визначенні розрахункової довжини параболічної арки в її площині можна скористатися формулою:

$$l_{ef} = \mu S,$$

де S — довжина напіварки; μ — коефіцієнт розрахункової довжини, що приймається по табл.5.1 [1, 3].

Таблиця 5.1

Тип арки	Значення μ при f/ℓ			
	0,05	0,2	0,3	0,4
Тришарнірна	1,2	1,2	1,2	1,3
Двохшарнірна	1,0	1,1	1,2	1,3
Безшарнірна	0,7	0,75	0,8	0,85

Забезпечення стійкості арок з площини здійснюють за допомогою системи поперечних зв'язків, розпірок і прогонів покриття. Тому розрахункову довжину з площини арки задають рівною відстані між розкріпленнями стисненого поясу (слід звернути увагу, що нижні пояси арок, як правило, стиснуті, що необхідно врахувати при проектуванні).

У разі наскрізних арок пояси і елементи решітки розраховуються, як правило, як центрально-стиснуті (розтягнуті) елементи, які в СТК-САПР класифікуються як тип елемента **Ферма**. Додаткові характеристики і розрахункові довжини задаються як для ферм (див., наприклад, розділ 3).

5.2.6. Розрахунок стійкості арки

Арка як стиснуто вигнутий елемент повинна бути перевірена на загальну стійкість як в своїй площині та і з площини. При розрахунку арок суцільного перерізу в СТК-САПР ці перевірки виконуються відповідно до [2]. Проте слід мати на увазі, що коеф. μ у табл.5.1, знайдений приблизно з рівняння стійкості центрально-стиснутого стержня, тому для перевірочних цілей слід виконувати розрахунок стійкості арок суцільного перерізу за допомогою відповідної функції ПК ЛІРА-САПР (див. [15]).

Арки наскрізного перерізу, після уточнення жорсткостей і перерахунку з уточненими жорсткостями (можливо, для складних конструкцій ця процедура виконуватиметься в декілька прийомів), необхідно перевірити на загальну стійкість в своїй площині за допомогою функції «Розрахунок на стійкість» [12]. Розрахунок стійкості необхідно виробляти по розрахункових комбінаціях навантажень (РСН) (див. підрозділ 1.16).

Коефіцієнт запасу стійкості, що видається ПК ЛПА-САПР, по кожній комбінації завантажень за рекомендаціями [5] повинен бути не менше 1.3...1.4.

Стійкість з площини відповідно до [1] буде забезпечена, якщо розрахункова довжина не перевищуватиме 16 ширин поясу. Якщо перевірка стійкості з площини все ж таки необхідна, задачу необхідно вирішувати в просторовій постановці. Причому для арок суцільного перерізу в обов'язковому порядку при розрахунку стійкості в ПК ЛПА-САПР необхідно встановити ознаку **Учет моментів при вычислении форм потери устойчивости**. Це означає, що при обчисленні критичних зусиль і форм втрати стійкості буде взята до уваги можлива згинально-крутильна форма втрати стійкості (більш детально з цього питання [5]).

Останнє, на що слід було б звернути увагу, це перевірочні розрахунки стійкості, в яких інтерес представляє не тільки втрата стійкості конструкції в цілому, але і стійкість окремих стержнів решітки. Для виконання таких розрахунків слід пам'ятати, що скінченні елементи поясів і решітки слід розбити на декілька елементів. При цьому кількість ділянок розбиття впливає на точність результатів, особливо на вигляд форми втрати стійкості.

5.3. Висотні інженерні споруди

Розглянемо одну із складових будівельної галузі – висотні промислові споруди з металевим каркасом: гратчасті башти, димові труби, витяжні башти, щогли, градирні. Загальні особливості, які дозволяють розглядати дані споруди в рамках єдиного підходу:

- основне навантаження на споруди – вітрове;
- суміщення несучих та технологічних функцій сталевими конструкціями споруд;
- складні умови обслуговування, ремонту, підсилення конструкцій в силу специфічності.

Проектування таких споруд є задачею достатньо трудомісткою, тому необхідно вже на початковій стадії проектування використовувати сучасні методи розрахунку та автоматизації проектних рішень.

Це дозволить вирішити велику кількість питань, а саме:

- виконати аналіз впливу динамічних навантажень на опори;

- виконати варіантне проектування з підбором перерізів опор;
- проектувати конструкції опор оптимальних геометричних розмірів;
- дозволить проектувати з врахуванням норм, що прийняті в інших країнах, для можливості оцінки прийнятого проектного рішення.

Мета представленого далі розрахунку полягає у вирішенні питань, пов'язаних з розрахунком цілого класу задач, з врахуванням діючих динамічних навантажень.

При розрахунку щогли наводиться методика розрахунку в геометрично нелінійній постановці, в якому враховуються зміни форми елементів конструкції, що виникають при їх деформаціях. Визначемо наступну послідовність виконання розрахунків даного класу задач:

1. Створення розрахункової схеми сталеної гратчастої конструкції, яка забезпечує конструктивну міцність та є найбільш ефективною.

2. Корегування схеми з врахуванням обґрунтованих конструктивних рішень, які дозволять підвищити несучу здатність.

3. Проведення аналізу напружено-деформованого стану конструкції в цілому та окремих її елементів.

4. Вирішення задачі конструювання вузлів, взаємної деформації вузлів.

5. Аналіз роботи конструкції з врахуванням власних форм коливань, з врахуванням пульсації вітру.

5.3.1. Розрахунок металеві вежі

Цілі та задачі:

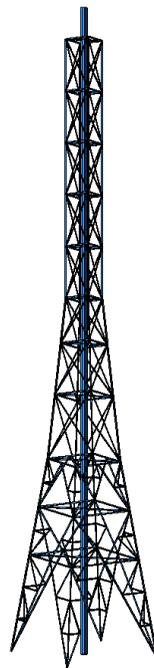
- продемонструвати процедуру побудови розрахункової схеми металеві вежі;
- показати техніку задання вітрової дії пульсації;
- продемонструвати процедуру розрахунку навантаження на фрагмент.

Вихідні дані:

Схема вежі показана на рис.5.3.1.1.

Металева вежа заввишки 100 м

Перерізи елементів вежі:



- центральна стійка – труба електросварна прямошовна, профіль 1020x8;
- стійки зовнішнього контуру та розкоси нижньої частини - уголок равнополочный, профіль 180 x 180 x 11;
- розкоси - уголок равнополочный, профіль 140 x 140 x 10;
- пояси жорсткості - швеллер с уклоном внутренних граней полок, профіль 20.

Навантаження:

- завантаження 1 – власна вага;
- завантаження 2 – ожеледь;
- завантаження 3 – вітрове статичне навантаження;
- завантаження 4 - вітрове навантаження з урахуванням пульсації

Рис. 5.3.1.1. Схема вежі

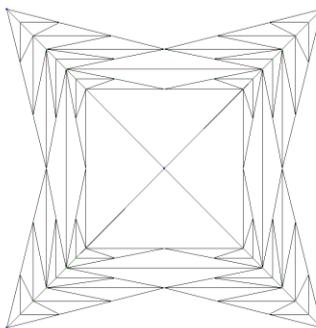
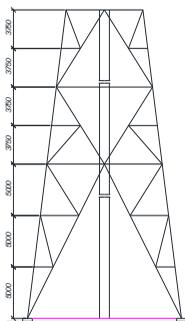


Рис.5.3.1.2. Нижня частина вежі. Проекції на площини XZ та XY

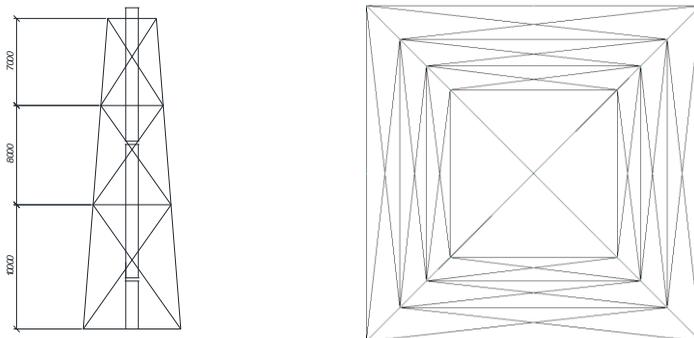


Рис. 5.3.1.3. Середня частина вежі. Проекції на площини XZ та XY

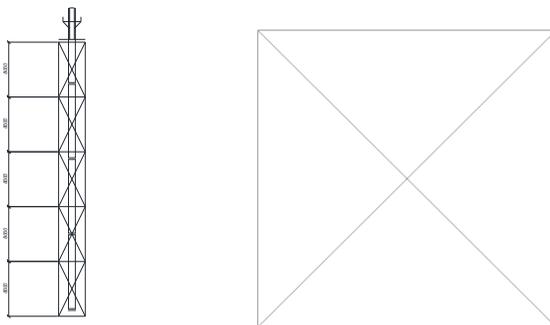


Рис. 5.3.1.4. Верхня частина вежі. Проекції на площини XZ та XY відповідно

Створення нової задачі

- Для створення нової задачі виконайте пункт меню **Файл** ⇒ **Новий** (кнопка  на панелі інструментів).
- У діалоговому вікні, що з'явилося, **Признак схеми** задайте ознаку схеми – **5** – **шість степеней свободы в узле**.

Створення геометричної схеми нижньої частини вежі

Додавання вузлів

- Викличте діалогове вікно **Добавить узел** за допомогою меню **Схема** ⇒ **Корректировка** ⇒ **Добавить узел** (кнопка  на панелі інструментів).
- У цьому діалоговому вікні задайте координати базового вузла:

X	Y	Z
0	0	0.

- Клацніть по кнопці -  – **Применить.**
- Користуючись цією ж закладкою створіть наступні вузли вежі:

	X	Y	Z
вузол 2	-8	-8	0
вузол 3	-6	-6	15
вузол 4	-4	-4	30
вузол 5	0	-6	15
вузол 6	-6	0	15
вузол 7	0	-4	30
вузол 8	-4	0	30.

Додавання стержневих елементів

- У діалоговому вікні **Добавить узел** перейдіть на закладку **Разделить на N равных частей.**
- У полі введення введіть значення **N = 3.**
- При встановлених прапорцях **Укажите узлы курсором і Соедините узлы стержнями** з'єднайте 3-й, 5-й та 6-й вузли з 2-м.
- Потім на закладці **Разделить на N равных частей** введіть значення **N = 4** та з'єднайте 3-й і 4-й вузли.
- На закладці **Разделить на N равных частей** введіть значення **N = 2** та з'єднайте 16-й вузол з 5-м, 6-м, 7-м та 8-м.
- Далі створюємо елементи решітки вежі.
- У діалоговому вікні **Добавить элемент** на першій закладці **Добавить стержень** при встановлених маркерах **Укажите узлы курсором і Учитывать промежуточные узлы** з'єднайте 9-й вузол з 11-м та 13-м. Потім 10-й вузол з 11-м, 12-м, 13-м та 14-м. Після цього 3-й вузол з'єднуємо з 5-м, 6-м, 11-м та 13-м, 18-м та 19-м. Також 15-й вузол з'єднується з 18-м та 19-м. Вузли 20 та 21 обидва з'єднуються з 17-м та 4-м вузлами. Необхідно додати ще 2 стержневих елемента з'єднуючи 4-й вузол з 7-м та 8-м.
- Якщо повернути створену частину вежі декілька разів навколо осі Z то вона повинна виглядати як на рис. 5.3.1.5

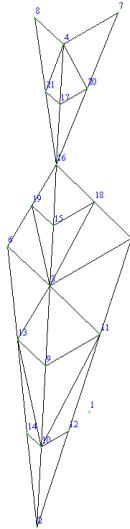


Рис. 5.3.1.5. Схема частини вежі

Задання граничних умов

- Виділіть опорні вузли вежі (1 та 2) курсором при активній кнопці  на панелі інструментів (пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка узлов**).
- У діалоговому вікні **Связи в узлах** (меню **Схема** ⇒ **Связи**, кнопка  на панелі інструментів) за допомогою встановлення прапорців, відзначте напрями, по яких заборонені переміщення вузлів (**X**, **Y**, **Z**).
- Кладніть по кнопці -  – **Применить**.

Задання параметрів жорсткості та призначення жорсткостей

- В діалоговому вікні **Жесткости элементов** (меню **Жесткости** ⇒ **Жесткости элементов** кнопка  на панелі інструментів) перейдіть на закладку **База металлических сечений** (Рис.5.3.1.6).
- Виберіть подвійним клацанням миші на елементі графічного списку тип перерізу **Труба**.

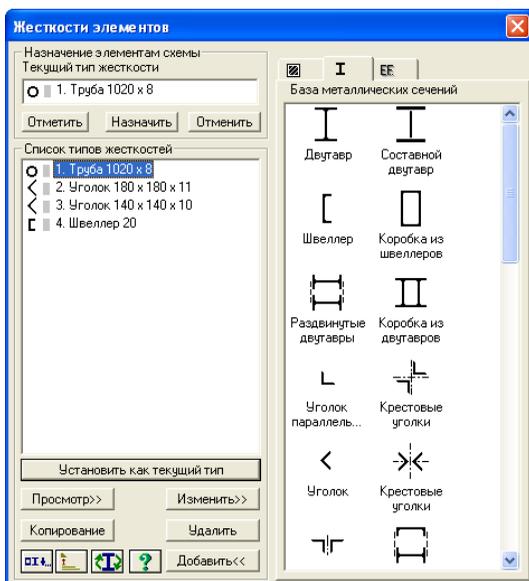


Рис.5.3.1.6. Диалогове вікно Жорсткості елементів

- У діалоговому вікні **Стальное сечение** (Рис.5.3.1.7) задайте параметри перерізу **Труба** (для стійки):
 - у списку, що розкривається, – **Сортамент** виберіть позицію – **Труба электросварная прямошовная**;
 - у списку – **Профиль – 1020x8**.
- Для введення даних клацніть по кнопці **ОК**.
- Виберіть із **Базы металлических сечений** тип перетину **Уголок**. У діалоговому вікні **Стальное сечение** задайте параметри.
 - Виберіть з сортаменту позицію – **Уголок равнополочный**;
 - у списку – **Профиль - 180x180x11**.
- Для введення даних клацніть по кнопці **ОК**.
- Ще раз виберіть із **Базы металлических сечений** тип перерізу **Уголок**. У діалоговому вікні **Стальное сечение** задайте параметри.
 - Виберіть з сортаменту позицію – **Уголок равнополочный**;
 - у списку – **Профиль - 140x140x10**.

- Виберіть із **Бази металлических сечений** тип перерізу **Швеллер**. У діалоговому вікні **Стальное сечение** задайте параметри.
 - Виберіть з сортаменту позицію - Швеллер с уклоном внутренних граней полок;
 - у списку - **Профиль - 20**.
- Для введення даних клацніть по кнопці **ОК**.

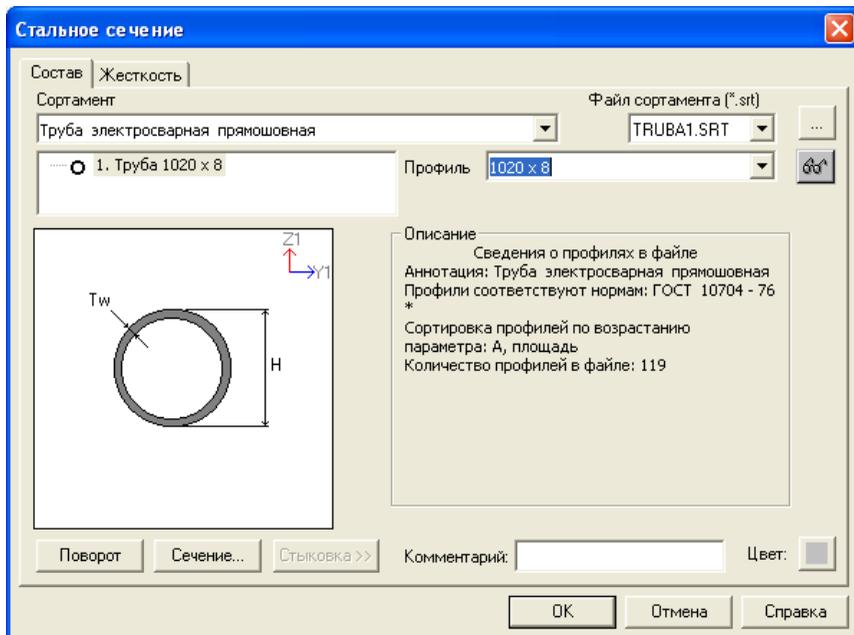


Рис.5.3.1.7. Діалогове вікно «Стальное сечение»

- Призначте елементам типи жорсткості як показано на Рис.5.3.1.8.

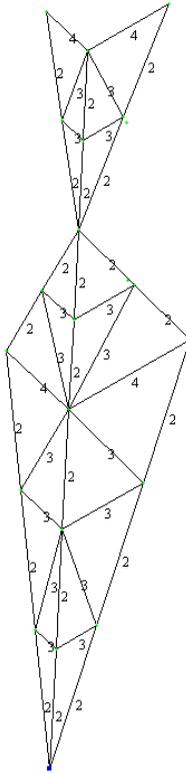


Рис.5.3.1.8. Схема для призначення жорсткості елементам

- Для зручності виділення необхідних елементів скористайтеся інструментом **ПолиФильтр** (**Выбор** ⇒ **ПолиФильтр**, кнопка  на панелі інструментів).

Коректування схеми

Копіювання існуючого фрагмента схеми

- За допомогою курсору при активній кнопці  на панелі інструментів (пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка элементов**) виділіть всі вузли та елементи схеми.

- Викличте діалогове вікно **Копирование объектов** через меню **Схема** ⇒ **Корректировка** ⇒ **Копировать выбранные объекты** (кнопка  на панелі інструментів).
- У цьому вікні перейдіть на четверту закладку **Копирование поворотом** і задайте параметри копіювання:
 - для того, щоб вказати вісь, навколо якої буде виконано копіювання, включіть радіо-кнопку **Z**;
 - введіть значення кута повороту **$\Phi_i = 90$** градусів;
 - задайте кількість копій **$N = 3$** .
- Підкоректуйте пояс жорсткості на висоті 15м, з'єднавши протилежні вузли хрестовою решіткою як вказано на Рис. 5.3.1.9



Рис. 5.3.1.9. Пояс жорсткості до редагування та після

- Додайте ще два таких пояси жорсткості на висоті 22.5м і 30м та призначте їм всім тип жорсткості **4. Швеллер 20**.
- Виконайте упаковку схеми за допомогою меню **Схема** ⇒ **Корректировка** ⇒ **Упаковка схемы** (кнопка  на панелі інструментів), викликавши діалогове вікно **Упаковка** (Упаковка схеми виконується для зшивання співпадаючих вузлів та елементів, а також для безповоротного виключення з розрахункової схеми видалених вузлів та елементів).
- Нічого не змінюючи у діалоговому вікні **Упаковка** клацніть по кнопці -  – **Применить**.
- Створення середньої частини вежі**
- Викличте діалогове вікно **Добавить узел**.
- У діалоговому вікні вкажіть координати вузлів

X	Y	Z
-3.2	-3.2	40
-2.56	-2.56	48
-2	-2	55

- Використовуючи діалогове вікно **Добавить элемент** з'єднайте їх почергово елементами та призначте їм другий тип жорсткості – **2. Уголок 180x180x11**.
- Виділіть створені елементи та скопіюйте їх поворотом відносно осі Z, використовуючи діалогове вікно **Копировать выбранные объекты**, вказавши при цьому кут повороту 90° та кількість копій 3.
- Створіть хрестову решітку вежі. Для цього з'єднайте навхрест чотири нижні вузли середньої частини вежі у площині XOZ. Призначте їм третій тип жорсткості – **3. Уголок 140x140x10**.
- Виділіть щойно створені елементи та скопіюйте їх поворотом навколо осі Z. Кількість копій **3**, кут повороту **90°**.
- Створіть пояси жорсткості на висоті 40, 48 та 55м. Тип жорсткості четвертий – **4. Швеллер 20**.

Створення верхньої частини вежі

- Викличте діалогове вікно **Добавить узел**. У діалоговому вікні вкажіть координати

X	Y	Z
-2	-2	95

- У цьому ж діалоговому вікні перейдіть на закладку **Разделить на N равных частей**. У полі введення введіть значення **N=5**. При встановлених прапорцях **Указать узлы курсором** та **Соединить узлы стержнями** з'єднайте створений вузол з лівим верхнім вузлом середньої частини вежі.
- Призначте щойно створеним елементам другий тип жорсткості.
- Скопіюйте ці елементи поворотом, як згадувалось раніше.
- Створіть хрестову решітку вежі та призначте їй третій тип жорсткості.
- Створіть пояси жорсткості на висоті 63, 71, 79, 87м. Для цього необхідно виділити верхній пояс середньої частини вежі і скористатися діалоговим вікном **Копировать выбранные объекты**. У першій закладці **Копировать по параметрам**

вказіть відстань переміщення по $dz=8\text{м}$ та кількість копій $N=5$.

Натисніть по кнопці -  – **Применить**

- Виконайте упаковку схеми за допомогою меню **Схема** ⇒ **Корректировка** ⇒ **Упаковка схемы** (кнопка  на панелі інструментів), викликавши діалогове вікно **Упаковка**. Нічого не змінюючи у цьому вікні клацніть по кнопці -  – **Применить**.

Створення центральної стійки вежі

- Додайте ще один вузол з координатами

X	Y	Z
0	0	100

- Додайте елемент, використовуючи діалогове вікно **Добавить элемент**. При встановлених прапорцях **Указать узлы курсором** та **Учитывать промежуточные узлы** з'єднайте перший вузол з останнім, який був доданий у попередньому пункті.

Задання навантажень

Формування завантаження № 1

- За допомогою меню **Нагрузки** ⇒ **Добавить собственный вес** викличте діалогове вікно **Добавить собственный вес**, у цьому вікні, при включеній радіо-кнопці **все элементы**, в полі **Коэфф. надежности по нагрузке** задайте коефіцієнт рівний **1.05** (оскільки в системі ЛІР-РС (**Редактируемый сортамент**) погонна вага елементів задана нормативною, то її потрібно перетворити в розрахункову). Всім елементам конструкції автоматично призначається рівномірно розподілене навантаження, рівне погонній вазі елементів.

Формування завантаження № 2

- Змініть номер поточного завантаження, викликавши діалогове вікно **Активное загрузие** за допомогою меню **Нагрузки** ⇒ **Выбор загрузки** (кнопка  на панелі інструментів).
- У цьому діалоговому вікні задайте номер завантаження **2**.
- Клацніть по кнопці -  – **Подтвердить**
- Курсором виділіть всі елементи вежі (меню **Выбор** ⇒ **Отметка элементов**, кнопка  на панелі інструментів).

- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** (меню **Нагрузки** ⇨ **Нагрузки на узлы и элементы**), задайте рівномірно розподілене навантаження на стержні інтенсивністю $p = 0.25$ т/м.

Формування завантаження № 3

- Змініть номер поточного завантаження на **3**.



З огляду на те, що в кожному рівні вежі є жорсткий диск, статичний тиск вітру можна задати, як суму швидкісного тиску вітру і відсосу.

- Перейдіть в проекцію на площину **XOZ** (кнопка  на панелі інструментів).
- Користуючись меню **Выбор** ⇨ **Отметка элементов** (кнопка  - **Отметка элементов** на панелі інструментів) виділіть проекцію нижнього елемента центральної стійки башти.



Вітрове рівномірно розподілене навантаження прикладається на висоті до 10 м.

- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** для зміни напрямку навантаження включіть радіо-кнопку **X** та виберіть **Трапецевидная нагрузка**.
- Задайте інтенсивність навантаження $p_1 = - 0.1176$ т/м, координату першої точки $A_1 = 0$, $p_2 = - 0.1176$ т/м та $A_2 = 10$ м.
- Ще раз виділіть проекцію нижнього елемента центральної стійки вежі за допомогою меню **Выбор** ⇨ **Отметка элементов** (кнопка  - **Отметка элементов** на панелі інструментів).
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок**, на третій закладці **Нагрузки на стержни** при включеній радіо-кнопці напрямку **X**, клацанням по кнопці **Трапецевидной нагрузки** викличе діалогове вікно **Параметры**.
- У цьому вікні задайте значення інтенсивності навантаження $p_1 = - 0.1176$ т/м та координату першої точки $A_1 = 10$ м, $p_2 = - 0.1909$ т/м, $A_2 = 15$ м.
- Повторюючи попередньо описані дії, задайте відповідні навантаження на центральну стійку вежі.

Від 15м до 22.5м – $p = - 0.1909$ т/м;
від 22.5м до 40м - $p = - 0.1459$ т/м;
від 40м до 63м - $p = - 0.1677$ т/м;
від 63м до 87м – $p = - 0.2195$ т/м;
від 87м до 100м – $p = - 0.1847$ т/м;

Задання характеристик для розрахунку вежі на пульсацію вітру

Формування динамічних завантажень із статичних

- Викличте діалогове вікно **Формирование динамических нагрузений из статических** (Рис.5.3.1.10) за допомогою меню **Нагрузки** ⇒ **Динамика** ⇒ **Учет статических нагрузений**.
- Для формування першого рядка зведеної таблиці, в цьому вікні, при включеній радіо-кнопці **загружение (код 1)**, задайте наступні параметри:
 - № динамічного завантаження – **4**;
 - № відповідного статичного завантаження – **1**;
 - Коеф. перетворення – **1**.
- Клацніть по кнопці **Добавить**.
- Для формування другого рядка зведеної таблиці, в цьому ж вікні задайте наступні параметри:
 - № динамічного завантаження – **4**;
 - № відповідного статичного завантаження – **2**;
 - Коеф. перетворення – **1**.
- Клацніть по кнопках **Добавить** і  – **Подтвердить**.

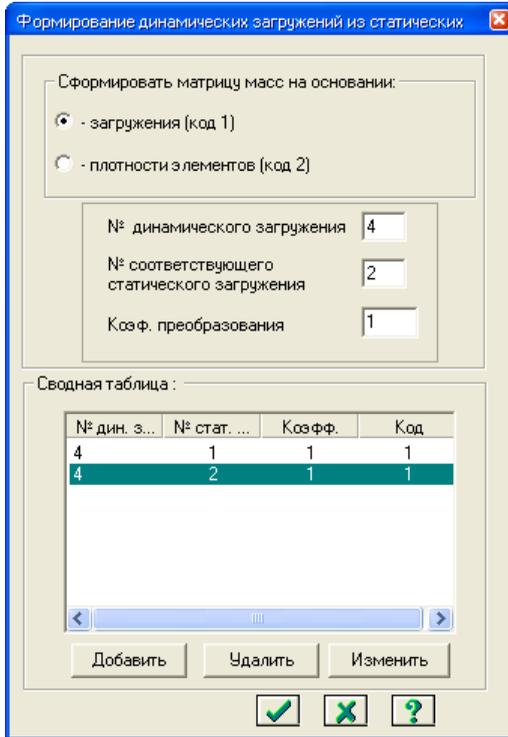


Рис.5.3.1.10. Діалогове вікно **Формирование динамических нагрузений из статических**

Формування таблиці параметрів динамічних впливів

- Викличте діалогове вікно **Задание характеристик для расчета на динамические воздействия** (Рис.5.3.1.11) за допомогою меню **Нагрузки** ⇒ **Динамика** ⇒ **Таблица динамических нагрузений** (кнопка  на панелі інструментів).
- У цьому вікні, при включеній радіо-кнопці **Согласованная** (для матриці мас), задайте наступні параметри:
 - № завантаження – **4**;
 - Найменування впливу – **Пульсация (21)**;
 - Кількість форм коливань, що враховуються, – **8**;
 - № відповідного статичного завантаження – **3**.

- Потім клацніть по кнопці **Параметры**.

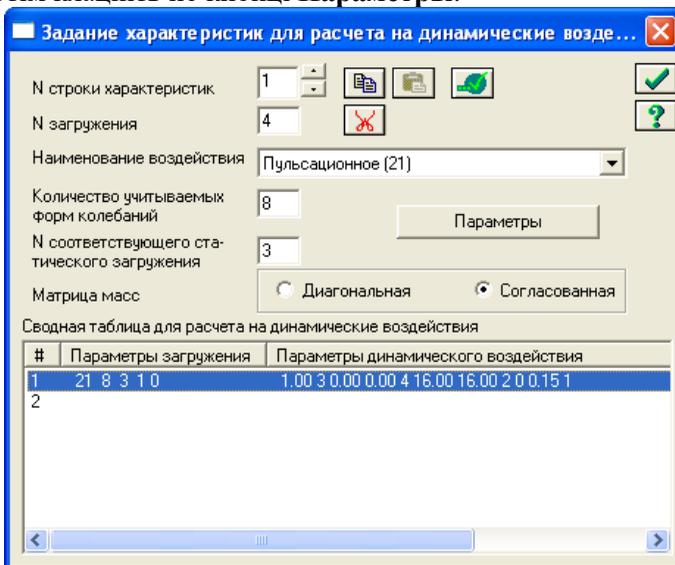


Рис.5.3.1.11. Діалогове вікно **Задание характеристик для расчете на динамические воздействия**

- У діалоговому вікні **Параметры расчета на ветровое воздействие с учетом пульсации** (Рис.5.3.1.12) задайте наступні параметри:
 - у списку, що розкривається, **Ветровой район строительства** виберіть рядок **Район 4**;
 - Довжина будівлі уздовж осі X – **16 м**;
 - Довжина будівлі уздовж осі Y – **16 м**;
 - Тип місцевості – **тип В**;
 - Логарифмічний декремент коливань – **0.15 (стальные конструкции)**;
 - решта параметрів приймається за замовчуванням.
- Підтвердіть введення даних клацнувши по кнопці  – **Подтвердить**.
- У діалоговому вікні **Задание характеристик для расчете на динамические воздействия** клацніть по кнопці  – **Подтвердить**.

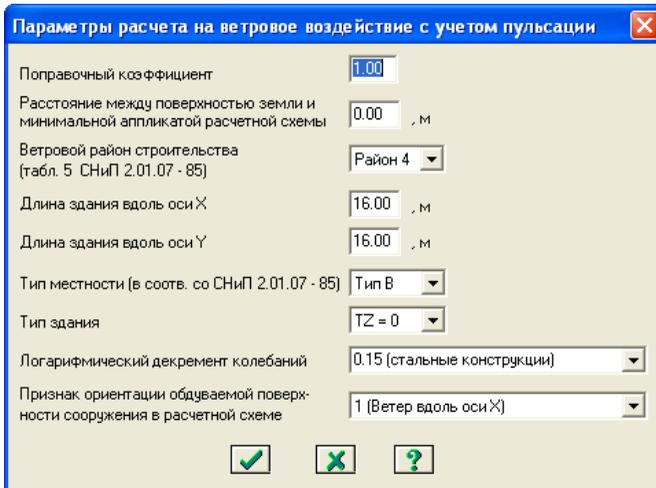


Рис.5.3.1.12. Діалогове вікно **Параметры расчета на ветровое воздействие с учетом пульсации**

Генерація таблиці РСУ

- За допомогою пункту меню **Нагрузки** ⇒ **PCУ** ⇒ **Генерация таблицы РСУ** (кнопка  на панелі інструментів) викличе діалогове вікно **Расчетные сочетания усилий**.
- У цьому вікні при вибраних будівельних нормах **СНиП 2.01.07-85** задайте наступні дані:
 - для Завантаження 1 виберіть в списку **Вид загрузки** – **Постоянное (0)**, в текстовому полі **Коэффициент надежности** задайте величину **1.05** і після цього клацніть по кнопці  – **Применить** (у рядку **Номер загрузки** номер автоматично змінився на 2);
 - для Завантаження 2 виберіть в списку **Вид загрузки** – **Кратковременное (2)**, в текстовому полі **Коэффициент надежности** задайте величину **1.3** і після цього клацніть по кнопці  – **Применить** (у рядку **Номер загрузки** номер автоматично змінився на 3);
 - для Завантаження 3 виберіть в списку **Вид загрузки** – **Стат.ветер для пульсации (9)** і клацніть по кнопці **По умолчанию** (у рядку **Номер загрузки** номер автоматично змінився на 4);

- для Завантаження 4 виберіть в списку **Вид загрузения – Мгновенное (7)**, встановіть прапорець **Учитывать знакопеременность** і після цього клацніть по кнопці  – **Применить**.

- Запустіть задачу на розрахунок за допомогою меню **Режим** ⇒ **Выполнить расчет** (кнопка  на панелі інструментів).

Перегляд і аналіз результатів розрахунку

- Після розрахунку задачі, перехід в режим результатів розрахунку здійснюється за допомогою меню **Режим** ⇒ **Результаты расчета** (кнопка  на панелі інструментів).
- У режимі аналізу результатів розрахунку за замовчуванням розрахункова схема відображається з урахуванням переміщень вузлів. Для відображення схеми без урахування переміщень вузлів виконайте пункт меню **Схема** ⇒ **Исходная схема** (кнопка  на панелі інструментів).

Відображення на екрані епюр внутрішніх зусиль

- Для виводу на екран епюри поздовжніх сил **N**, виконайте пункт меню **Усилия** ⇒ **Эпюры** ⇒ **Эпюры продольных сил (N)** (кнопки  , а потім  на панелі інструментів).
- Щоб вивести мозаїку зусилля **N**, виконайте пункт меню **Усилия** ⇒ **Эпюры** ⇒ **Мозаика N** (кнопка  на панелі інструментів).

Зміна номера поточного завантаження

- На панелі інструментів **Загрузкия**



змініть номер завантаження на **2** і

клацніть по кнопці  – **Применить**.

Відображення форм коливань конструкції

- На панелі інструментів **Загрузкия** змініть номер завантаження на **4** і клацніть по кнопці  – **Применить**.

- Для відображення схеми з урахуванням переміщень вузлів виконайте пункт меню **Схема** ⇒ **Исходная схема** (кнопка  на панелі інструментів).
- Для відключення відображення мозаїки зусилля N, виконайте пункт меню **Усилия** ⇒ **Эпюры** ⇒ **Мозаика N** (кнопка  на панелі інструментів).
- Виведіть першу форму коливань за допомогою меню **Схема** ⇒ **Форма колебаний** (кнопка  на панелі інструментів).
- Для відображення другої форми коливань четвертого завантаження на панелі інструментів **Завантаження**



змінить номер форми коливань на 2 і клацніть по кнопці  – **Применить**.

Відображення анімації другої форми коливань

- За допомогою пункту меню **Вид** ⇒ **Пространственная модель (3D-графика)** перейдіть в режим просторової моделі.
- Для перегляду анімації другої форми коливань четвертого завантаження виконайте пункт меню **Опции** ⇒ **Флаги рисования** ⇒ **Показать анимацию колебаний** (кнопка  на панелі інструментів).
- У діалоговому вікні **Колебания** клацніть по кнопці  – **Воспроизвести анимацию**.
- Для повернення в режим візуалізації результатів розрахунку, закрийте вікно просторової моделі.

Формування і перегляд таблиць результатів розрахунку

- При активному пункті меню **Выбор** ⇒ **Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів) за допомогою курсору виділіть опорний елемент вежі №1.
- Для виводу на екран таблиці із значеннями розрахункових сполучень зусиль у виділеному елементі схеми, виконайте пункт меню **Окно** ⇒ **Стандартные таблицы**.
- Після цього в діалоговому вікні **Стандартные таблицы** виділіть рядок **Расчетные сочетания усилий**.

- Для створення таблиці у форматі HTML, включіть радіо-кнопку **HTML** і клацніть по кнопці -  – **Применить**.
- У вікні Microsoft Internet Explorer відкривається таблиця 5.3.1.13.

Таблиця 5.3.1.13. РОЗРАХУНКОВІ СПОЛУЧЕННЯ

ЭЛ М	НС	КРТ	СТ	КС	Г	N	МК	МУ	QZ	MZ	QU	ЗАГРУЖЕННЯ
1	1	2	1		A	-56.556	0	.42669	.02015	0	0	1,3,
		1	2		B	28.496	.00009	.05619	-.05372	-.01022	-.00984	1,4,
		2	2		B	-85.491	-.00009	.37874	.07441	.01022	.00984	1,3,4,
		9	2		B	-39.576	-.00009	.03636	.05834	.01022	.00984	1,4,
		28	2		B	-17.418	.00009	.39857	-.03766	-.01022	-.00984	1,3,4,
1	2	2	1		A	-55.146	0	-.14705	-.24568	0	0	1,3,
		1	2		B	28.656	.00009	-.29384	-.08386	.03987	-.00984	1,4,
		2	2		B	-84.206	-.00009	.14100	-.16786	-.03987	.00984	1,3,4,
		9	2		B	-39.416	-.00009	.25657	.02820	-.03987	.00984	1,4,
		14	2		B	-16.133	.00009	-.40941	-.27993	.03987	-.00984	1,3,4,



У приведеній таблиці прийняті наступні позначення:

1 колонка – **ЕЛМ** – номер елемента на розрахунковій схемі;

2 колонка – **НС** – номер перерізу елемента;

3 колонка – **КРТ** – критерій вибору розрахункового сполучення зусиль;

4 колонка – **СТ** – номер стовпця коефіцієнтів розрахункових поєднань зусиль в таблиці РСУ;

5 колонка – **КС** – відмітка про кранові і сейсмічні впливи в випадку, якщо ці дії беруть участь в РСУ;

6 колонка – індекси *A* і *B* позначають групи РСУ, які відрізняються по тривалості дії навантажень, що входять в поєднання. Індексом *A* позначаються РСУ, які складаються із завантажень тривалої дії. Індексом *B* позначаються РСУ, які складаються з усіх завантажень.

Розрахунок навантаження на фрагмент



Інформацією для розрахунку навантажень на фрагмент

є:

- номери вузлів, в яких повинні бути підраховані навантаження;

- номери елементів, які передають навантаження на ці вузли;
- кути повороту вузлів навколо осі Z глобальної системи координат.

➤ При активному пункті меню **Выбор** ⇨ **Отметка узлов** (кнопка  на панелі інструментів) за допомогою курсора виділіть вузли №96 і 98.

➤ Для виділення елементів, які передають навантаження на виділені вузли, виконайте пункт меню **Выбор** ⇨ **Отметить элементы примыкающие к отмеченным узлам**.

➤ Виконайте пункт меню **Усилие** ⇨ **Нагрузка на фрагмент** ⇨ **Рассчитать** (кнопка  на панелі інструментів).

➤ У діалоговому вікні **Расчет нагрузок на фрагмент** (рис.5.3.1.14) задайте наступні параметри:

У полі введення **Список элементов** клацніть по кнопці **Обновить**, для того, щоб внести номери виділених елементів у відповідне поле введення;

Для створення нової групи вузлів примикання фрагмента клацніть по кнопці **Создать**;

У полі введення **Список узлов** клацніть по кнопці **Обновить**, для того, щоб внести номери виділених вузлів у відповідне поле введення.

➤ Після цього клацніть по кнопці **Рассчитать нагрузку на фрагмент**.

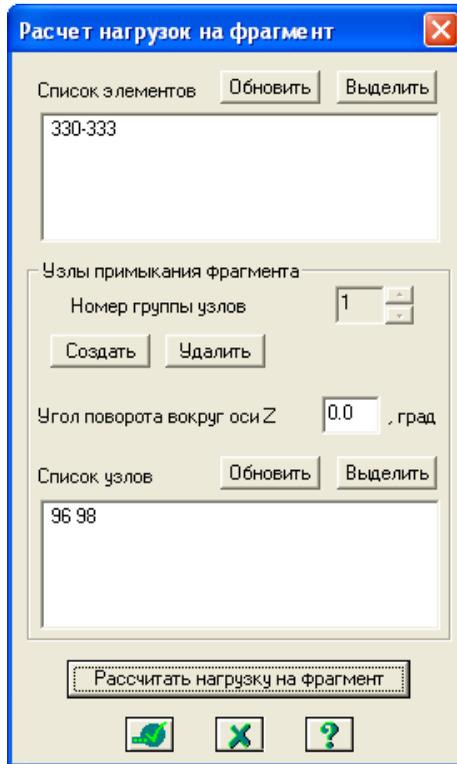


Рис.5.3.1.14. Діалогове вікно **Расчет нагрузок на фрагмент**

- У діалоговому вікні, що з'явилося, **Параметры расчетного процессора** (Рис.5.3.1.15) клацніть по кнопці **Подтвердить**.

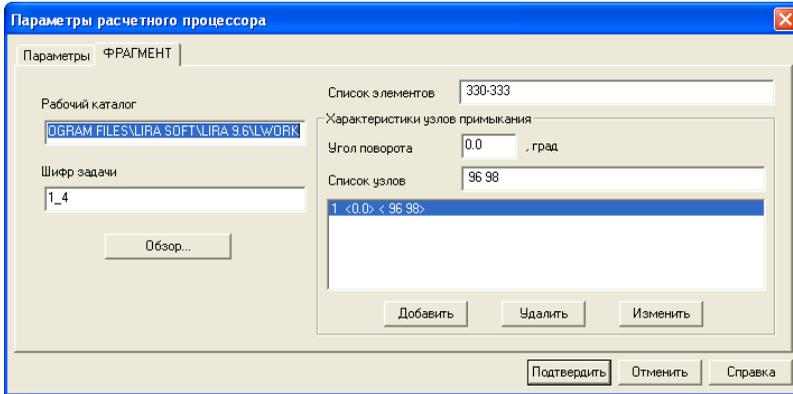


Рис.5.3.1.15. Діалогове вікно **Параметры расчетного процессора**

Формування і аналіз таблиці результатів розрахунку навантаження на фрагмент

- Для виводу на екран таблиці із значеннями навантажень на фрагмент у вузлах, виконайте пункт меню **Окно** ⇒ **Стандартные таблицы**.
- Після цього в діалоговому вікні **Стандартные таблицы** виділіть рядок **Нагрузка на фрагмент**.

Відображення на екрані значень навантаження на фрагмент у вузлах розрахункової схеми

- На панелі інструментів **Загружения**



змінить номер завантаження на 1 і

клацніть по кнопці  – **Применить**.

- Виведіть на екран значення сил на вузли фрагмента по напрямку **Z** за допомогою меню **Усилия** ⇒ **Нагрузка на фрагмент** ⇒ **Сила по Z** (кнопки , а потім  на панелі інструментів).
- Для виводу значень сил на вузли фрагмента по напрямку **X**, виконайте пункт меню **Усилия** ⇒ **Нагрузка на фрагмент** ⇒ **Сила по X** (кнопка  на панелі інструментів).

Отже, виконаний таким чином розрахунок, повністю відповідає поставленим цілям. За допомогою ПК ЛІРА САПР легко

змодельована детальна розрахункова схема башти з необхідними навантаженнями. Виконаний розрахунок з урахуванням вітрової пульсації дозволяє раціонально законструювати всі елементи башти, а також обчислити навантаження на фундаменти під опорами башти.

5.3.2. Розрахунок щогли в геометрично нелінійній постановці

Цілі і задачі:

- скласти розрахункову схему щогли;
- показати моделювання геометричної нелінійності.

Початкові дані:

Схема щогли і її закріплення показані на мал. 5.3.2.1.

Металева щогла заввишки 69,98 м.

Перерізи елементів щогли:

- стійка – КЭ 10 численное;
- відтяжки (в місцях закріплення) – КЭ 1 численное;
- відтяжки (по всій довжині) – КЭ 310 (нить);

Навантаження:

- завантаження 1 – попередній натяг;
- завантаження 6 – власна вага;
- Завантаження 7 – вітрове навантаження.

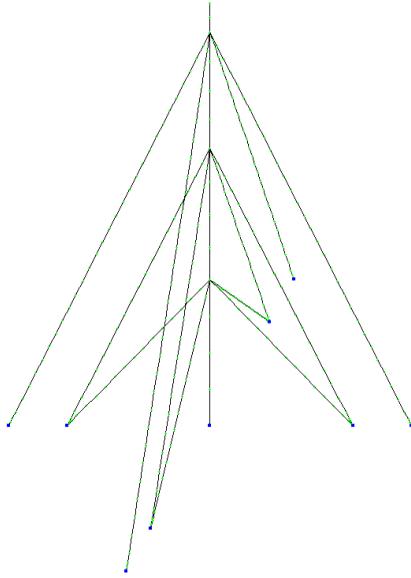


Рис. 5.3.2.1. Схема мачти

Створення геометричної схеми щогли

Розрахунок проводиться в трьохмірній постановці при заданій ознаці схеми 5.

- Викличте діалогове вікно **Добавить узел** за допомогою меню

Схема ⇒ **Корректировка** ⇒ **Добавить узел** (кнопка  на панелі інструментів).

- У цьому діалоговому вікні задайте координати вузлів центральної стійки та нижніх вузлів відтяжок:

➤		X	Y	Z
➤	1	0	0	0.
➤	2	0	0	24,09
➤	3	0	0	45,81
➤	4	0	0	65,13
➤	5	0	0	69,98
➤	6	-23,75	0	0
➤	7	-33,5	0	0

Додавання стержньових елементів

- У цьому ж діалоговому вікні перейдіть на закладку **Разделить на N равных частей**.
- При включених прапорцях **Указать узлы курсором та Соединять узлы стержнями** вкажіть $N=15$ та з'єднайте 6-й вузол з 2-им;
- Змініть $N=20$ та з'єднайте 6-й вузол з 3-им;
- При значенні $N=30$ з'єднайте 7-й вузол з 4-им.
- Введіть значення $N=4$ та з'єднайте 1-й вузол з 2-им, потім 2-й з 3-ім та 3-й з 4-им.
- Змініть число $N=2$ та з'єднайте 4-й та 5-й вузли.

Додавання стержньових елементів

- За допомогою кнопки  - **Отметка элементов** виділіть нижні елементи відтяжок
- У діалоговому вікні **Добавить элемент** перейдіть на закладку **Разделить на N равных частей**.
- У полі введення введіть значення $N = 2$ та натисніть  - **Применить**.
- Знову виділіть нижні елементи відтяжок (щойно створені) та ще раз розділіть їх на 2 частини ($N=2$) як було описано вище.

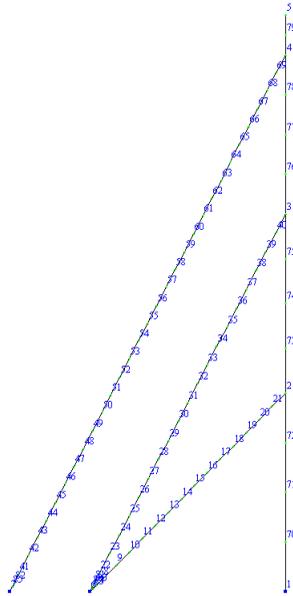


Рис.5.3.2.2. Частина розрахункової схеми з нумерацією вузлів

Задання граничних умов

- В опорних вузлах відтяжок необхідно заборонити переміщення вузлів вздовж осей **X, Y, Z**.
- В центральному опорному вузлі необхідно встановити заборону переміщень вузла вздовж осей **X, Y, Z**, та обертання навколо осей **UX, UY, UZ**.
- Зміна типу скінченного елемента
- Виконайте пункт меню **Выбор** ⇨ **Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів).
- Виділіть відтяжки схеми.
- За допомогою меню **Схема** ⇨ **Корректировка** ⇨ **Смена типа конечного элемента** (кнопка  на панелі інструментів) викличте діалогове вікно **Смена типа конечного элемента**.
- У цьому діалоговому вікні за допомогою курсору виділіть рядок **Тип 310 – геометрически нелинейный**

универсальный пространственный стержневой КЭ (нить)
та натисніть  - Применить.

- Виділіть нижні елементи відтяжок та у тому самому ж діалоговому вікні призначте Тип 308 – геометрически нелинейный специальный двухузловой КЭ для моделирования предварительного натяжения.

Задання жорсткісних параметрів елементам щогли Формування типів жсткостей

- В діалоговому вікні **Жесткости** елементов (**Жесткости** ⇨ **Жесткости** элементов, кнопка  на панелі інструментів) (рис.5.3.2.3) на третій закладці **Пластинчатые, объемные, численные** КЭ виберіть тип **КЭ 10 численное**.

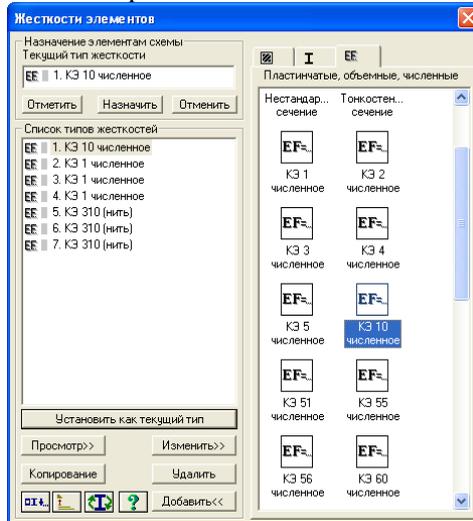


Рис.5.3.2.3 Діалогове вікно **Жесткости** элементов.

- У діалоговому вікні **Численное описание** для **КЭ 10** задайте такі характеристики (рис.5.3.2.4) та натисніть **Подтвердить**.

Численное описание для КЭ 10

EF	<input type="text" value="51740"/>	т
Ely	<input type="text" value="7474"/>	т*м ²
Elz	<input type="text" value="7474"/>	т*м ²
Glx	<input type="text" value="1.92"/>	т*м ²
Y1	<input type="text" value="36.662"/>	см
Y2	<input type="text" value="36.662"/>	см
Z1	<input type="text" value="36.662"/>	см
Z2	<input type="text" value="36.662"/>	см
Ru_Y	<input type="text" value="0"/>	см
Ru_Z	<input type="text" value="0"/>	см
q	<input type="text" value="0"/>	т/м

Учет

GF GFy т

 GFz т

Комментарий

Цвет

Рис.5.3.2.4. Диалогове вікно Численное описание для КЭ

- Добавьте другой тип жорсткості, який також розташований на третій закладці – **КЭ 1 численное** з наступними характеристиками EF=4183т, Z1=100см, Z2=100см (рис. 5.3.2.5)

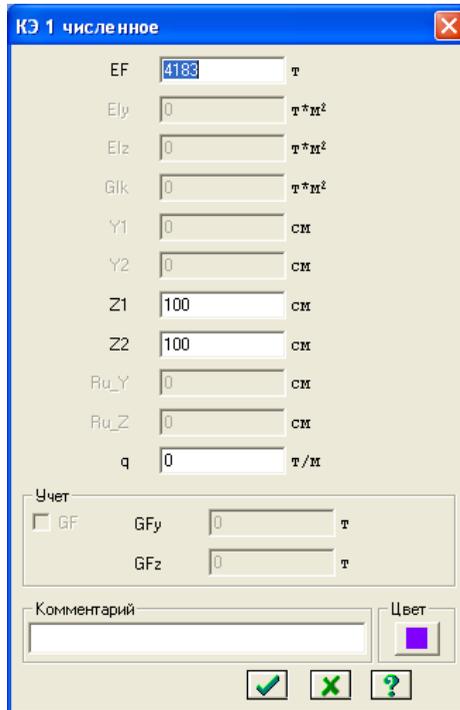


Рис.5.3.2.5. Діалогове вікно **КЭ 1 численное**

- Скопіюйте щойно створений тип жорсткості для **КЭ 1 численное** 2 рази.
- Змініть в скопійованих типах жорсткості значення EF. Для третього типу EF=2874т, а для четвертого - EF=997.1т. Значення Z1 та Z2 в обо випадках слід залишити такими самими, рівними 100см.
- Створіть п'ятий тип жорсткості. На третій закладці, виберіть **КЭ 310(нить)**, та задайте такі характеристики **Способ задания сечения - Численное**, EF=3419т (рис.5.3.2.6).

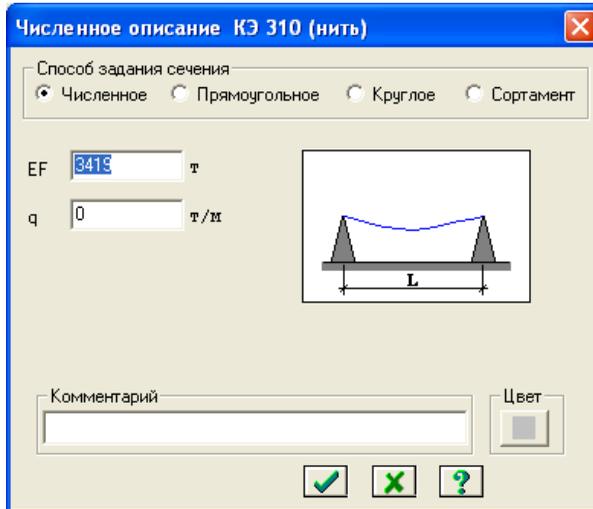


Рис.5.3.2.6. Діалогове вікно **Численное описание КЭ 310 (нить)**

- Скопіюйте створений тип жорсткості - **КЭ 310(нить)** - 2 рази.
- Змініть для обох скопійованих типів тільки EF. Для шостого типу значення EF=1628 т, а для сьомого EF=854.7 т.

Призначення жорсткостей элементам щогли

- У діалоговому вікні **Жесткости элементов** у списку типів жорсткостей виділіть курсором тип жорсткості **1. КЭ 10 численное**.
- Клацніть по кнопці **Установить как текущий тип**.
- Виділіть елементи стійки користуючись меню **Выбор** ⇨ **Отметка вертикальных стержней**.
- У діалоговому вікні **Жесткости элементов** клацніть по кнопці **Назначить** (з елементів зніметься виділення на знак того, щоб їм був присвоєний даний тип жорсткості).
- У діалоговому вікні **Жесткости элементов** у списку типів жорсткостей виділіть курсором тип жорсткості **5. КЭ 10 численное**.
- Клацніть по кнопці **Установить как текущий тип**.

- Виділіть елементи найдовшої відтяжки користуючись меню **Выбор** ⇒ **Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів)
- У діалоговому вікні **Жесткости элементов** клацніть по кнопці **Назначить**.
- Програма видасть попередження (Рис. 5.3.2.7) та виділить нижній елемент відтяжки. Натисніть **ОК**.

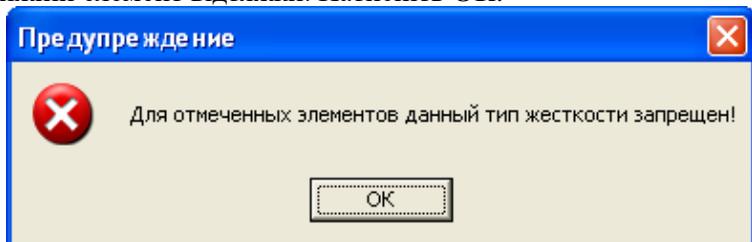


Рис. 5.3.2.7. Попередження програми щодо призначення типу жорсткості

- Призначте для виділеного елемента другий тип жорсткості – **2. КЭ 1 численное**. Для цього у діалоговому вікні **Жесткости элементов** виділіть строчку **2. КЭ 1 численное** та натисніть **Установить как текущий тип**. Клацніть **Назначить**.
- У діалоговому вікні **Жесткости элементов** у списку типів жорсткостей виділіть курсором тип жорсткості **6. КЭ 10 численное**.
- Клацніть по кнопці **Установить как текущий тип**
- Виділіть елементи середньої відтяжки користуючись меню **Выбор** ⇒ **Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів)
- У діалоговому вікні **Жесткости элементов** клацніть по кнопці **Назначить**.
- Програма видасть попередження (Рис. 5.3.2.7) та виділить нижній елемент відтяжки. Натисніть **ОК**.
- Призначте для виділеного елемента тип жорсткості – **3. КЭ 1 численное**. Для цього у діалоговому вікні **Жесткости элементов** виділіть строчку **3. КЭ 1 численное** та натисніть **Установить как текущий тип**. Клацніть **Назначить**.

- У діалоговому вікні **Жесткости элементов** у списку типів жорсткостей виділіть курсором тип жорсткості **7. КЭ 10 численное**.
- Клацніть по кнопці **Установить как текущий тип**
- Виділіть елементи середньої відтяжки користуючись меню **Выбор** ⇒ **Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів)
- У діалоговому вікні **Жесткости элементов** клацніть по кнопці **Назначить**.
- Програма видасть попередження (Рис. 5.3.2.7) та виділіть нижній елемент відтяжки. Натисніть **ОК**.
- Призначте для виділеного елемента тип жорсткості – **4. КЭ 1 численное**. Для цього у діалоговому вікні **Жесткости элементов** виділіть строчку **4. КЭ 1 численное** та натисніть **Установить как текущий тип**. Клацніть **Назначить**.

Копіювання елементів

- За допомогою курсору при активній кнопці  на панелі інструментів(пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка элементов**) виділіть всі вузли і елементи відтяжок.
- Викличте діалогове вікно **Копирование объектов** з меню **Схема** ⇒ **Корректировка** ⇒ **Копировать выбранные объекты** (кнопка  на панелі інструментів).
- У цьому вікні перейдіть на четверту закладку **Копирование поворотом** і задайте параметри копіювання:
 - для того, щоб вказати вісь, навколо якої буде виконано копіювання, включіть радіо-кнопку **Z**;
 - введіть значення кута повороту **$\Phi_i = 90$** градусів;
 - задайте кількість копій **$N = 3$** .
- Натисніть  - **Применить**.
- Мачта повинна виглядати як на Рис. 5.3.2.1.

Задання навантажень Формування завантаження № 1



Задання динамічного впливу для розрахунку на динаміку у часі повинно бути організовано наступним чином. Довільне статичне завантаження під номером 1 (може бути порожнім), завантаження вагами масс під номером 2, завантаження вузловим динамічним навантаженням під номером 3 та завантаження демпфуючим статичним навантаженням під номером 4 (може бути відсутнім). Завантаження 5 (резервне) повинно бути відсутнім. Завантаження 6 та вище можуть бути використані для перетворення вузлового статичного навантаження в динамічне.

- Моделивання розтягу- форкопф.
 - Для виділення елементів найзручніше користуватися діалоговим вікном **Жесткости элементов**. Зробіть поточним вид жорсткості **2. КЭ 1 численное** та натисніть кнопку **Отметить**. Виділяться нижні елементи найдовших відтяжок.
 - Відкрийте меню **Нагрузки** ⇨ **Нагрузки на узлы и элементы** ⇨ **Нагрузки на стержни**. Виберіть напрям **X** та ліве нижнє навантаження – **Нагрузка на спецэлемент (форкопф)** та введіть значення 1.98т.
 - У діалоговому вікні **Жесткости элементов** зробіть поточним вид жорсткості **3. КЭ 1 численное** та натисніть **Отметить**. Виділяться нижні елементи середніх відтяжок.
 - Через **Нагрузки на узлы и элементы** ⇨ **Нагрузки на стержни** відкрийте **Нагрузка на спецэлемент (форкопф)** та введіть значення 0.94т (по осі X).
 - Для нижніх елементів найкоротших відтяжок введіть значення розтягу 0.45т.
- Формування завантаження № 6 – власна вага**
- Змініть номер активного завантаження, викликавши діалогове вікно **Активное загрузеие** за допомогою меню **Нагрузки** ⇨ **Выбор загрузки**(кнопка  на панелі інструментів).
 - У цьому діалоговому вікні задайте номер завантаження 2.

- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить.**
- Виділіть елементи центральної стійки мачти за допомогою меню **Выбор** ⇒ **Отметка вертикальных стержней**
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни.**
- Потім ввімкніть радіо-кнопку **Z** для задання напряму дії навантаження.
- Клацанням по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличте діалогове вікно **Параметры.**
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $p=0.05972t$.
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить.**
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить.**
- Виділіть верхній вузол стійки за допомогою кнопки  на панелі інструментів (пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка узлов**).
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на другу закладку **Нагрузки на узлы.**
- Потім ввімкніть радіо-кнопку **Z** для задання напряму дії навантаження.
- Клацанням по кнопці зосередженої сили викличте діалогове вікно **Параметры.**
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $p=1.105t$.
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить.**
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить.**
- Виділіть елементи найкоротших відтяжок мачти за допомогою меню **Выбор** ⇒ **ПолиФильтр** (кнопка  на панелі інструментів).
- Перейдіть на другу закладку **Фильтр по элементам.**
- Встановіть прапорець **По жесткости** та виберіть тип жорсткості **7. КЭ 310 (нить).**
- Клацніть по кнопці  - **Применить.**
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни.**

- Потім увімкніть радіо-кнопку **Z** для задання напрямку дії навантаження.
- Клацанням по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличе діалогове вікно **Параметры**.
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $p=0.000562t$.
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить**.
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить**.
- Виділіть другий знизу елемент найкоротших відтяжок мачти за допомогою меню **Выбор** ⇒ **Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів).
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни**.
- Потім увімкніть радіо-кнопку **Z** для задання напрямку дії навантаження.
- Клацанням по кнопці зосередженої сили викличе діалогове вікно **Параметры**.
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $P=0.0487t$ та $A=0.218093m$.
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить**.
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить**.
- Виділіть третій знизу елемент найкоротших відтяжок мачти за допомогою меню **Выбор** ⇒ **Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів).
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни**.
- Потім увімкніть радіо-кнопку **Z** для задання напрямку дії навантаження.
- Клацанням по кнопці зосередженої сили викличе діалогове вікно **Параметры**.
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $P=0.0261t$ та $A=0.436185m$.

- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить.**
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить.**
- Виділіть елементи найкоротших та середніх відтяжок мачти за допомогою меню **Выбор** ⇒ **ПолиФильтр** (кнопка  на панелі інструментів).
- Перейдіть на другу закладку **Фильтр по элементам.**
- Встановіть прапорець **По жесткости** та виберіть типи жорсткості **6. КЭ 310 (нить)** та **7. КЭ 310 (нить).**
- Клацніть по кнопці  - **Применить.**
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни.**
- Потім ввімкніть радіо-кнопку **Z** для задання напряду дії навантаження.
- Клацанням по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличте діалогове вікно **Параметры.**
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $p=0.0007686t$.
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить.**
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить.**
- Виділіть елементи середніх відтяжок мачти за допомогою меню **Выбор** ⇒ **ПолиФильтр** (кнопка  на панелі інструментів).
- Перейдіть на другу закладку **Фильтр по элементам.**
- Встановіть прапорець **По жесткости** та виберіть типи жорсткості **6. КЭ 310 (нить).**
- Клацніть по кнопці  - **Применить.**
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни.**
- Потім ввімкніть радіо-кнопку **Z** для задання напряду дії навантаження.
- Клацанням по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличте діалогове вікно **Параметры.**

- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $p=0.00107\text{т}$.
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить.**
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить.**
- Виділіть другий знизу елемент середніх відтяжок мачти за допомогою меню **Выбор** \Rightarrow **Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів).
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни.**
- Потім ввімкніть радіо-кнопку **Z** для задання напряму дії навантаження.
- Клацанням по кнопці зосередженої сили викличте діалогове вікно **Параметры.**
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $P=0.0487\text{т}$ та $A=0.0549939\text{м}$.
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить.**
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить.**
- Виділіть третій знизу елемент середніх відтяжок мачти за допомогою меню **Выбор** \Rightarrow **Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів).
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни.**
- Потім ввімкніть радіо-кнопку **Z** для задання напряму дії навантаження.
- Клацанням по кнопці зосередженої сили викличте діалогове вікно **Параметры.**
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $P=0.0261\text{т}$ та $A=0.109986\text{м}$.
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить.**
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить.**

- Виділіть елементи найдовших відтяжок мачти за допомогою меню **Выбор** ⇒ **ПолиФильтр** (кнопка  на панелі інструментів).
- Перейдіть на другу закладку **Фильтр по элементам**.
- Встановіть прапорець **По жесткости** та виберіть типи жорсткості **5. КЭ 310 (нить)**.
- Клацніть по кнопці  - **Применить**.
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни**.
- Потім ввімкніть радіо-кнопку **Z** для задання напряму дії навантаження.
- Клацанням по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличте діалогове вікно **Параметры**.
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $p=0.00225t$.
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить**.
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить**.
- Виділіть ще раз елементи найдовших відтяжок користуючись інструментом **ПолиФильтр**
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни**.
- Потім ввімкніть радіо-кнопку **Z** для задання напряму дії навантаження.
- Клацанням по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличте діалогове вікно **Параметры**.
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $p=0.0008875t$.
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить**.
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить**.
- Виділіть другий знизу елемент найдовших відтяжок мачти за допомогою меню **Выбор** ⇒ **Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів).

- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни**.
 - Потім ввімкніть радіо-кнопку **Z** для задання напряму дії навантаження.
 - Клацанням по кнопці зосередженої сили викличте діалогове вікно **Параметры**.
 - У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $P=0.0487T$ та $A=0.389662m$.
 - Клацніть по кнопці  - **Подтвердить**.
 - Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить**.
 - Виділіть третій знизу елемент найдовших відтяжок мачти за допомогою меню **Выбор** ⇒ **Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів).
 - У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни**.
 - Потім ввімкніть радіо-кнопку **Z** для задання напряму дії навантаження.
 - Клацанням по кнопці зосередженої сили викличте діалогове вікно **Параметры**.
 - У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $P=0.0261T$ та $A=0.779326m$.
 - Клацніть по кнопці  - **Подтвердить**.
 - Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить**.
- Формування завантаження № 7 – вітер**
- Змініть номер активного завантаження, викликавши діалогове вікно **Активное загрузение** за допомогою меню **Нагрузки** – **Выбор загрузки**(кнопка  на панелі інструментів).
 - У цьому діалоговому вікні задайте номер завантаження **3**.
 - Клацніть по кнопці  - **Подтвердить**.
 - Виділіть чотири нижні елемента центральної стійки мачти за допомогою меню **Выбор** ⇒ **Отметка вертикальных стержней**.

- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни**.
- Потім ввімкніть радіо-кнопку **X** для задання напряму дії навантаження.
- Клацанням по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличте діалогове вікно **Параметры**.
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $P=0.0369\text{т/м}$ та ввімкніть радіо-кнопку.
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить**.
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить**.
- Виділіть чотири середніх елемента центральної стійки мачти за допомогою меню **Выбор** ⇒ **Отметка вертикальных стержней**.
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни**.
- Потім ввімкніть радіо-кнопку **X** для задання напряму дії навантаження.
- Клацанням по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличте діалогове вікно **Параметры**.
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $P=0.0485\text{т/м}$.
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить**.
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить**.
- Виділіть чотири верхніх елемента центральної стійки до висоти 65.13м за допомогою меню **Выбор** ⇒ **Отметка вертикальных стержней**.
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни**.
- Потім ввімкніть радіо-кнопку **X** для задання напряму дії навантаження.
- Клацанням по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличте діалогове вікно **Параметры**.
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $P=0.0582\text{т/м}$.

- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить.**
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить.**
- Виділіть ті два верхніх елемента центральної стійки, що залишилися та за допомогою меню **Выбор** ⇒ **Отметка вертикальных стержней.**
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни.**
- Потім ввімкніть радіо-кнопку **X** для задання наряду дії навантаження.
- Клацанням по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличте діалогове вікно **Параметры.**
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $P=0.0632\text{т/м.}$
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить.**
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить.**
- Виділіть елементи двох правих найкоротших відтяжок мачти за допомогою меню **Выбор** ⇒ **Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів) та **Полигональная отметка.**
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни.**
- Потім ввімкніть радіо-кнопку **X** для задання наряду дії навантаження.
- Клацанням по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличте діалогове вікно **Параметры.**
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $P=0.00023\text{т/м.}$
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить.**
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить.**
- Програма видасть попередження (рис. 5.3.2.8.) та виділить нижні елементи відтяжок, що мають 308-й тип скінченного елемента.

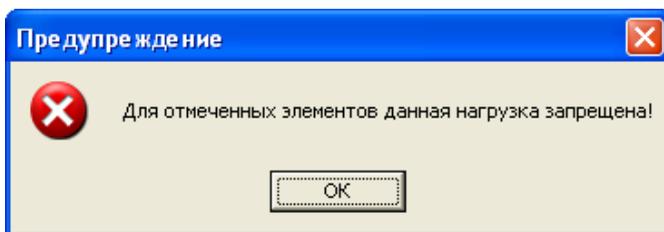


Рис. 5.3.2.8. Попередження програми щодо задання навантаження

- Натисніть **ОК** та зніміть виділення з елементів за допомогою меню **Выбор** ⇒ **Отмена выделения**
- Виділіть елементи двох лівих найкоротших відтяжок мачти за допомогою меню **Выбор** ⇒ **Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів) та **Полигональная отметка**.
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни**.
- Потім ввімкніть радіо-кнопку **X** для задання напряду дії навантаження.
- Клацанням по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличте діалогове вікно **Параметры**.
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження **P=0.00023т/м**.
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить**.
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить**.
- Виділіть елементи двох правих середніх відтяжок мачти за допомогою меню **Выбор** ⇒ **Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів) та **Полигональная отметка**.
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни**.
- Потім ввімкніть радіо-кнопку **X** для задання напряду дії навантаження.
- Клацанням по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличте діалогове вікно **Параметры**.

- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $P=0.000562\text{т/м}$.
 - Клацніть по кнопці  - **Подтвердить.**
 - Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить.**
 - Виділіть елементи двох лівих середніх відтяжок мачти за допомогою меню **Выбор** \Rightarrow **Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів) та **Полигональная отметка**.
 - У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни**.
 - Потім ввімкніть радіо-кнопку **X** для задання напряму дії навантаження.
 - Клацанням по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличе діалогове вікно **Параметры**.
 - У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $P=0.00066\text{т/м}$.
 - Клацніть по кнопці  - **Подтвердить.**
 - Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить.**
- Виділіть дев'ять верхніх елементів двох правих найдовших відтяжок мачти за допомогою меню **Выбор** \Rightarrow **Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів) та **Полигональная отметка**.
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни**.
- Потім ввімкніть радіо-кнопку **X** для задання напряму дії навантаження.
- Клацанням по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличе діалогове вікно **Параметры**.
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $P=0.0014\text{т/м}$.
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить.**
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить.**

- Виділіть дев'ять верхніх елементів двох лівих найдовших відтяжок мачти за допомогою меню **Выбор ⇔ Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів) та **Полигональная отметка**.
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни**.
- Потім ввімкніть радіо-кнопку **X** для задання напряду дії навантаження.
- Клацанням по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличте діалогове вікно **Параметры**.
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $R=0.0014\text{т/м}$.
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить**.
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить**.
- Виділіть десять наступних елементів двох правих найдовших відтяжок мачти за допомогою меню **Выбор ⇔ Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів) та **Полигональная отметка**.
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни**.
- Потім ввімкніть радіо-кнопку **X** для задання напряду дії навантаження.
- Клацанням по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличте діалогове вікно **Параметры**.
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $R=0.00107\text{т/м}$.
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить**.
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить**.
- Виділіть ті елементи, що залишилися двох правих найдовших відтяжок мачти за допомогою меню **Выбор ⇔ Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів) та **Полигональная отметка**.

- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни**.
- Потім ввімкніть радіо-кнопку **X** для задання напряму дії навантаження.
- Клацанням по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличте діалогове вікно **Параметры**.
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $P=0.0008875\text{т/м}$.
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить**.
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить**.
- Виділіть ті елементи двох лівих найдовших відтяжок мачти на які ще не прикладене навантаження за допомогою меню **Выбор** ⇒ **Отметка элементов** (кнопка  на панелі інструментів) та **Полигональная отметка**.
- У діалоговому вікні **Задание нагрузок** перейдіть на третю закладку **Нагрузки на стержни**.
- Потім ввімкніть радіо-кнопку **X** для задання напряму дії навантаження.
- Клацанням по кнопці рівномірно розподіленого навантаження викличте діалогове вікно **Параметры**.
- У цьому вікні задайте інтенсивність навантаження $P=0.00088\text{т/м}$.
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить**.
- Після цього в діалоговому вікні **Задание нагрузок** клацніть по кнопці  - **Применить**.

Формування динамічних завантажень із статичних

- Для задання інформації о масі для розрахунку на динамічні впливи відкрийте діалогове вікно **Формирование динамических загружений из статических** через меню **Нагрузки** ⇒ **Динамика** ⇒ **Учет статических загружений**.
- У цьому діалоговому вікні (рис. 5.3.2.9) ввімкніть радіо-кнопку **Сформировать матрицу масс на основе загрузки (код 1)**.

- Вкажіть номер динамічного завантаження 2 та номер відповідного статичного завантаження 6.
- **Коефіцієнт преобразования** дорівнює 1 та натисніть кнопку **Добавить**.
- Клацніть по кнопці  - **Подтвердить**.

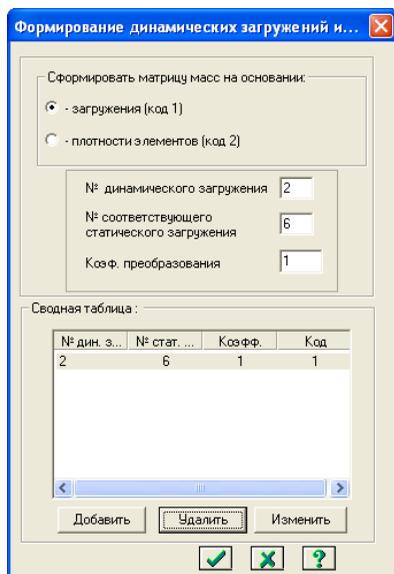


Рис. 5.3.2.9 Діалогове вікно **Формирование динамических загрузений из статических**

Динаміка у часі

- Для задання інформації, яка необхідна для розрахунку динаміки у часі відкрийте через меню **Нагрузки** ⇨ **Динамика** ⇨ **Динамика плюс** наступне діалогове вікно (рис. 5.3.2.10).
- Встановіть прапорець **Выполнять расчет Динамики плюс**.
- Задайте параметри для розрахунку, як вказано на рис. 5.3.2.10.

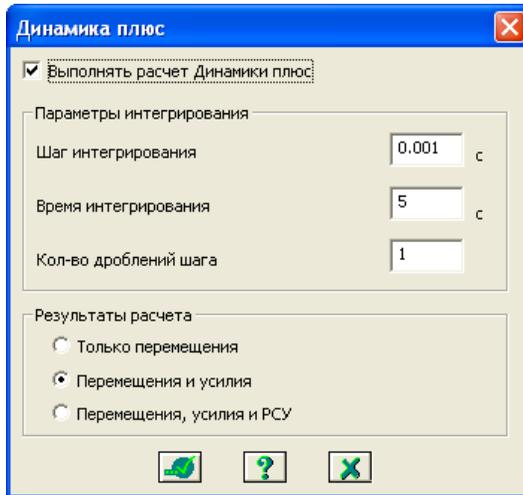


Рис. 5.3.2.10. Діалогове вікно **Динамика плюс**

Преобразование статических нагрузений (Динамика плюс)

- Для задання інформації про перетворення вузлового статичного навантаження у вузлове динамічне відкрийте через меню **Нагрузки** ⇨ **Динамика** діалогове вікно **Преобразование статических нагрузений** (рис.5.3.2.11).
- Статичне завантаження повинне бути задане з номером 6 та вище. У нашому випадку номер для статичного завантаження – 7.
- Динамічне завантаження для динаміки у часі завжди має номер 3.
- За допомогою відповідної радіо кнопки виберіть **Закон преобразования нагрузки - Ломанная с произвольным шагом**.
- Задайте **Параметры закона**. Для ломаного навантаження начальними параметрами є кількість точок графіка навантаження. Введіть цифру 4 та натисніть  - Применить.
- Справа з'явиться поле вводу для значень часу $t(i)$ та координати навантаження $z(i)$, де i – кількість точок.
- Введіть значення часу та координати навантаження як вказано на рис.5.3.2.11. та клацніть **Добавить**.

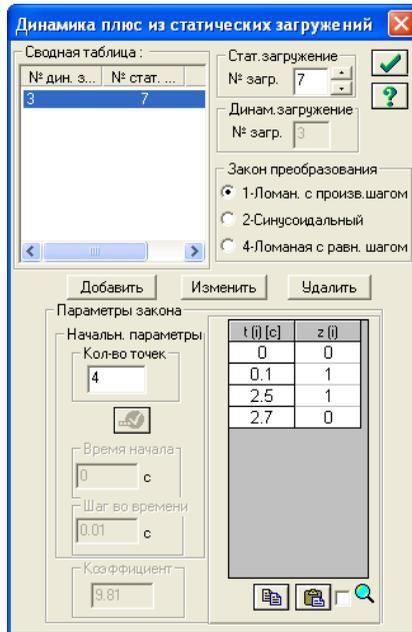


Рис.5.3.2.11. Діалогове вікно **Динамика плюс из статических нагрузений**

- Для збереження сводної таблиці натисність  - **Подтвердить.**
- Збережіть розрахункову схему щогли.
- Запустіть задачу на розрахунок за допомогою меню **Режим** ⇨ **Выполнить расчет** (кнопка  на панелі інструментів).
- **Перегляд і аналіз результатів розрахунку**
- Після розрахунку задачі, перехід в режим результатів розрахунку здійснюється за допомогою меню **Режим** ⇨ **Результаты расчета** (кнопка  на панелі інструментів).
- У режимі аналізу результатів при розрахунку **Динаміки плюс** отримані результати можна переглянути лише за допомогою кнопки **Информация об узле и элементе**.
- Для вузлів – це графіки переміщень (з урахуванням переміщень від першого статичного завантаження), швидкостей та прискорень для кожного ступіня свободи (X, Y,

Z, UX, UY, UZ). Для елементів – графіки зміни у часі внутрішніх зусиль.

- Для того щоб відобразити інформацію, наприклад про верхній вузол мачти натисніть кнопку **Інформація об узле и элементе**, а потім виділіть верхній вузол.
- Відкриється діалогове вікно з інформацією про вузол.

Перейдіть на другу закладку . Для того щоб отримати переміщення, швидкість та прискорення по осі X ввімкніть радіо-кнопку **X** та встановіть прапорець **Изменения во времени**.

- Відкриється діалогове вікно **Динамика плюс - результаты** з відповідними графіками (рис.5.3.2.12).

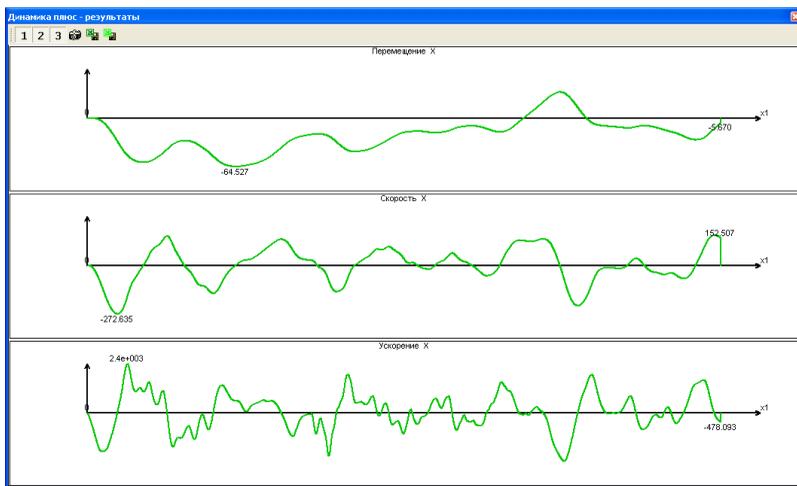


Рис. 5.3.2.12. Діалогове вікно Динаміка плюс – результати

- Також, деякі результати розрахунку можна отримати у режимі розрахункового процесору.
- Перейдіть у режим розрахункової схеми за допомогою меню **Режим ⇔ Расчетная схема**.
- Затиснувши клавішу Shift натисніть кнопку  на панелі інструментів.

- Програма видасть попередження щодо перерозрахунку задачі, натисніть **Да**.
- У діалоговому вікні, що відкриється (рис. 5.3.2.13) натисніть кнопку **Динамика плюс**.

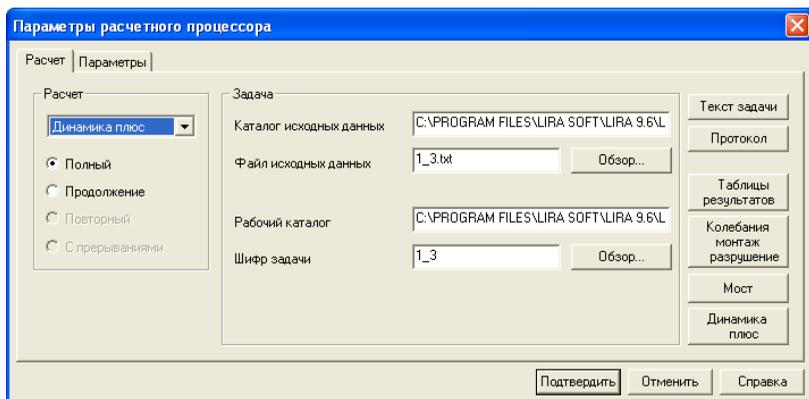


Рис. 5.3.2.13. Діалогове вікно **Параметры расчетного процессора**

Відкриється вікно розрахункового процесора в якому можливо подивитися графіки для вузлів та елементів. Щоб подивитися графіки для вузлів необхідно натиснути кнопку **Узлы**. З'явиться діалогове вікно **Инструменты** в якому необхідно ввімкнути останню кнопку **Номера узлов**. На схемі з'являться номери всіх вузлів мачти (рис. 5.3.2.14).

Для того щоб відобразити графіки для вузла необхідно спочатку його виділити. Ввімкніть першу кнопку на панелі **Инструменты** та виділіть необхідний вузол. Для нього з'являться графіки U_x , V_x , A_x . Щоб переглянути наступні графіки (U_y , V_y , A_y , U_z , V_z , A_z) натисніть кнопку **Далее**.

Щоб повернутися в попереднє вікно натисніть **Прервать**. Для того, щоб відобразити графіки для елемента натисніть кнопку **Элементы**. На панелі **Инструменты** ввімкніть першу кнопку та виділіть необхідний елемент. З'являться графіки N , M_k . Щоб переглянути наступні графіки (M_u , Q_z , M_z , Q_y) натисніть кнопку **Далее**. Для повернення в попереднє вікно клацніть **Прервать**. Для того щоб вийти з вікна розрахункового процесора натисніть **Выход**.

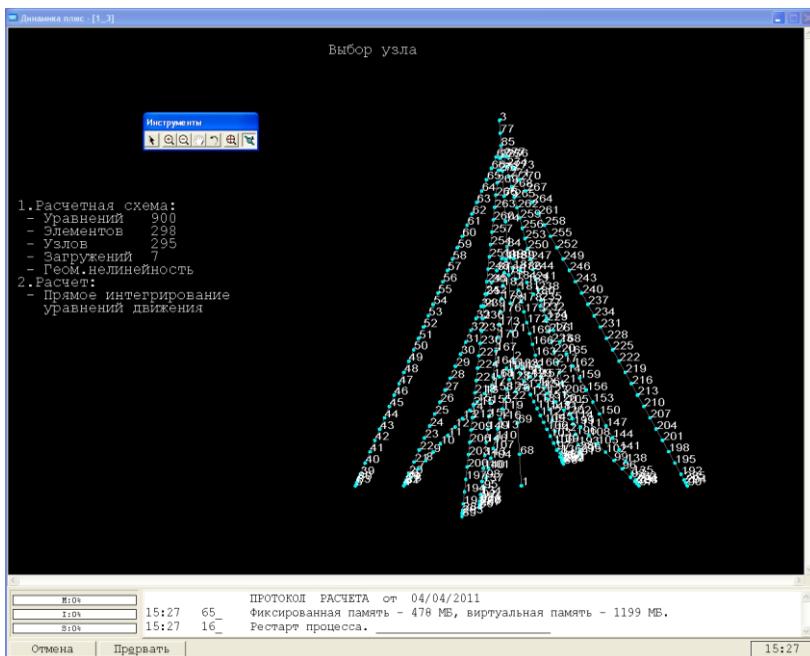


Рис.5.3.2.14. Вікно розрахункового процесора

Розрахунок, виконаний за допомогою спеціалізованого процесора «динаміка у часі», який реалізований в ПК ЛІРА САПР надає унікальну можливість одночасного урахування пульсаційного вітрового навантаження та геометричної нелінійності. В результаті цього розрахунку стало можливим проаналізувати зміну геометрії (деформацій), зусиль (напружень) в часі. У вигляді графіків також можуть бути представлені швидкості та прискорення вузлів схеми. Такі дані дають можливість максимально оптимізувати перерізи елементів розрахункової схеми. Використання інструменту «динаміка у часі» надає можливість одночасно враховувати фізично нелінійні властивості матеріалу конструкції і будь якого динамічного навантаження.

ПІСЛЯМОВА

Звичайно, короткий екскурс в програмний комплекс ЛПРА-САПР, який був поданий в цьому навчальному посібнику, не є ані всеосяжним посібником користувача, ані покроковими інструкціями «натисніть кнопку А, щоб отримати Б». Навпаки, цей навчальний посібник був спрямований на те, щоб дати загальне уявлення про те, чим є програма ЛПРА-САПР, і чим вона не являється з точки зору конструктора металевих конструкцій. Але автори сподіваються, що розвіяли імлу таємничості, яка вкривала цей складний інженерний інструмент, і читач без вагань і побоювань зможе з ним подружитися.

Програмний комплекс ЛПРА-САПР безперервно розвивається, покращується та його функціональність нарощується. Тоді як редагувалася й версталася ця книга, програмний комплекс ЛПРА-САПР дещо змінився. Основні зміни користувацького інтерфейсу ЛПРА-САПР полягають у тому, що функціональність програм АРМ-САПР і СТК-САПР щодо роботи з розрахунковою схемою повністю перенесена у ВІЗОР-САПР – інтегроване середовище підготовки вихідних даних та аналізу розрахункових схем.

Також в сфері нормативної літератури з проектування сталевих конструкцій останнім часом відбулись зміни, зокрема з 01.12.2011р. введено в дію новий ДБН В.2.6-163:2010 «Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу», замість СНиП II – 23 – 81* «Стальне конструкції». Але автори хотіли б ще раз підкреслити, що основна мета цього навчального посібника полягає у популяризації проектування конструкцій будинків та споруд з використанням сучасних комп'ютерних технологій, зокрема ПК ЛПРА-САПР. Тому автори залишили без змін посилання на СНиП II – 23 – 81*, що неперешкоджає вивченню можливостей програмного комплексу та засвоєнню навичок користування цим комплексом і застосування його на практиці.

Список рекомендованої літератури

1. Металеві конструкції: Підручник / [Пермяков В.О., Нілов О.О., Шимановський та ін.]; під загальною ред. В.О. Пермякова та О.В. Шимановського. – К.: Видавництво «Сталь», 2008. – 812с.
2. Стальные конструкции. Нормы проектирования: СНиП II – 23 – 81*. [действующие от 1982-01-01, утвержденные с изменениями, постановлением Госстроя СССР, № 121 от 1989-07-12] / Госстрой СССР. – М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96с.
3. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов / [Беленя Е.И., Балдин В.А., Ведеников Г.С. и др.]; под ред. Е.И. Беленя. – [6-е изд.]. – М: Стройиздат, 1986. – 560 с.
4. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. – К.: Факт, 2007. – 394 с.
5. Навантаження і впливи. Норми проектування: ДБН В.1.2-2:2006. – [Чинні від 2007-01-01– К.: Мінбуд України, 2006. – 60 с.
6. Прокат листовой горячекатаный. Сортамент. Межгосударственный стандарт: ГОСТ 19903 – 74. – [Взамен 8597-57; Введ. 1974-06-27. переиздан (март 2000 г.) с изменен.]. – М.: Госкомитет по стандартам, 2000. – 18 с.
7. Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент: ГОСТ 8239-89 [Введ. 1989-09-27]. – М.: Госкомитет по стандартам, 1989. – 4 с.
8. Металлические конструкции. В 3т. Т. 1. Элементы конструкций: Учеб. для строительных вузов /В.В.Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов и др.; Под ред. В.В. Горева. — М.: Высш. шк., 2001. — 551 с.
9. Нілов О.О., Лавріненко Л.І. Металеві конструкції. Одноповерхові виробничі будівлі. Основи розрахунку. Позацентрово-стиснуті колоні: Навчальний посібник. — ДО.: КНУБА. 2004. — 210 с.
10. Городецкий А.С., Медведенко Д.В. Подсистема создания чертежей стадии КМ — ЛИРА-КМ // Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее: Сб. докладов VIII

- Украинской научно-технической конференции. — Ч.1. — К.: Изд-во "Сталь", 2004. — С. 175 — 185.
11. Барабаш М.С., Лазнюк М.В., Мартынова М.Л., Пресняков Н.И. Современные технологии расчета и проектирования металлических и деревянных конструкций. Курсовое и дипломное проектирование. Исследовательские задачи.: Учебное пособие для студ.вшю учеб.заведений/ Под ред.. проф.. Нилова А.А. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 328 с.
 12. Верюжский Ю.В., Колчунов В.И., Барабаш М.С., Гензерский Ю.В. Компьютерные технологии проектирования железобетонных конструкций. Курсовое проектирование. Учебное пособие Киев, Книжкове вид-во НАУ, 2006, 808 с.
 13. Медведенко Д. В. САПР XXI века. Современные требования и практические пути реализации // Вісник ОНМУ. 2003, № 10. — С. 13 — 18.
 14. Ли М.Л., Гареева Т.В., Нуруллина Д.В. Сравнительный анализ различных расчетных схем конструкций производственного здания. // Итоги строительной науки: материалы международной научно-технической конференции – Владимир: ВГУ, 2003 – С. 208-211.
 15. Лихтарников Я.М. Расчет стальных конструкций. Справочное пособие / Лихтарников Я. М., Клыков В.М., Ладыженский Д.В.; – К.: Будівельник, 1984. – 368 с.
 16. Барабаш М.С., Гензерский Ю.В., Марченко Д.В., Титок В.П. ЛИРА 9.2. Примеры расчета и проектирования. Учебное пособие. К.: Факт, 2005. – 138 с.
 17. Барабаш М.С., Гераймович Ю.Д., Кекух А.Н., Лазнюк М.В., Стрелец-Стрелецкий Е.Б. Пакеты прикладных программ для автоматизированного проектирования конструкций. Киев, Факт, 2006, 111с.
 18. Е.Б. Стрелец–Стрелецкий, В.Е. Боговис, Ю.В. Гензерский, Ю.Д. Гераймович, Д.В. Марченко, В.П. Титок. ЛИРА 9.4. Руководство пользователя. Основы. Учебное пособие. Под ред. Академика РААСН, докт. техн. наук, проф. А.С. Городецкого.– К.: Издательство «ФАКТ», 2008.– 168с.

19. Городецкий А.С., Шмуклер В.С., Бондарев А.В. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций. Учебное пособие. – Харьков: НТУ ХПИ, 2003. – 889 с.
20. Городецкий А.С. Вопросы расчета конструкций в упругопластической стадии на ЭЦВМ. // ЭЦВМ в строительной механике. Сборник трудов Всесоюзной конференции в Ленинграде в 1963г. по применению ЭЦВМ в строительной механике Л.-М.: Издательство литературы по строительству. -1966. - С.169-174.
21. Городецкий А.С. «МОДЕЛЬ» - программа для расчета пространственных стержневых систем на БЭСМ-2. // К.: препринт КиевЗНИИЭП.-1963.-С.38-45.
22. Лантух-Лященко А.И. ЛИРА. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. – Учебное пособие. К. – М.: 2001. – 312 с.
23. ЛИРА 9.4. Примеры расчета и проектирования. Учебное пособие. В.Е.Боговис, Ю.В.Гензерский, Ю.Д.Гераймович, А.Н.Куценко, Д.В.Марченко, Д.В.Медведенко, Я.Е.Слободян, В.П.Титок. Издано: Киев: издательство "Факт", 2008. - 280 с.
24. Метод конечных элементов: теория и численная реализация. Программный комплекс "ЛИРА-Windows" / Городецкий А.С., Евзеров И.Д., Стрелец-Стрелецкий Е.Б., Боговис В.Е., Гензерский Ю.В., Городецкий Д.А. — К.: ФАКТ, 1997. — 138 с.
25. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81* Стальные конструкции) / Госстрой СССР. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. — 148 с.
26. СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах / Госстрой СССР. — М.: Стройиздат, 1982. — 48 с.
27. Литвиненко С.В. Реализация расчета по второму предельному состоянию в конструирующей системе СТК-САПР // Вісник ОНМУ. 2003, № 10. — С. 30 — 33.
28. Нілов О.О. Металеві конструкції. Балки. Колони: Навч. Посібник для студентів будівельних спеціальностей. — К.: ІЗМН, 1997. — 232 с.

29. Стальные конструкции производственных зданий: Справочник / А.А. Нилов, В.А. Пермяков, А.Я. Прицкер. — К.: Будівельник, 1986. — 272 с.
30. Металлические конструкции : учебник для студ. высш. учеб. заведений / [Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатьева и др.] ; под ред. Ю.И. Кудишина. — 8-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский центр «Академия», 2006. — 688 с.
31. Металлические конструкции. В 3т. Т.2. Стальные конструкции зданий и сооружений. (Справочник проектировщика) /Под общ. ред. В.В. Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова). — М.: АСВ, 1998. — 512 с.
32. Метод конечных элементов в механике твердых тел./Под общ.ред. А.С. Сахарова и И. Альтенбаха. — Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1982. — 480с.
33. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции / Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. - 192 с.
34. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81* Стальные конструкции) / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. — М.:ЦИТП Госстроя СССР. — 1989. — 148 с.
35. СНиП III-18-75. Металлические конструкции. Правила производства и приемки работ / Госстрой СССР - М.: Стройиздат, 1976. — 161 с.
36. Справочник конструктора металлических конструкций / Васильченко В.Т., Рутман А.Н., Лукьяненко Е.П. — Киев: Будівельник, 1980 -288 с.
37. Беленя Е.И. Обзор исследований предварительно напряженных металлических конструкций / Беленя Е.И. // III Междунар. конф. по предварит. напряженным метал. конструкциям. Т. 1. - М.: Стройиздат, 1973. - С.57-74.
38. Беккерман М.И. Экспериментально-теоретические исследования балок, изготовленных из сварных двутавров с преднапряженной стенкой / Беккерман М.И., Кравченко Л.В., Тихонов В.Д. // Эксперим. исследования конструкций производств. зданий: Сб. науч. тр. ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова — М.: Изд-во ЦНИИпроектстальконструкции им. Н.П. Мельникова, 1984.— С. 30-39.

39. Методические рекомендации по применению облегченных предварительно напряженных сварных двутавров для реконструкции промышленных предприятий / НИИСП Госстроя УССР; [Сост. И.И. Набоков, А.И. Голоднов, Е.П. Лукьяненко и др.]. – К.: НИИСП, 1988. – 45 с.
40. Техническое состояние строительных металлических конструкций в Украине / [А.В. Шимановский, В.Н. Гордеев, А.И. Оглобля и др.] // Автомат. сварка. – 2001. – № 9. – С. 33-38.
41. Сахновский М.М. Технологичность строительных сварных стальных конструкций / Сахновский М.М. – К.: «Будівельник», 1980. – 264с.
42. Сварные строительные конструкции: в 3 т. / [В.Н. Шимановский, Э.Ф. Гарф, В.А. Пермяков и др.]; Под ред. Л.М. Лобанова. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1997. – Т. 2. Типы конструкций. – 1997. – 680 с.

**Додаток 1. Формули розрахунку елементів конструкції
програмою ЛІР-СТК**

Центрально-розтягнені та центрально-стиснені елементи

№	Тип перевірки	Джерело або пункт СНИП	Формула перевірки
1	Міцність	5.1	$\frac{N}{A} \leq R_y \cdot \gamma_c, \frac{N}{A} \leq \frac{R_u \cdot \gamma_c}{\gamma_u}$
2	Стійкість	5.3	$\frac{N}{\varphi A} \leq R_y \cdot \gamma_c$
3	Гнучкість	6.15	$\lambda \leq [\lambda]$
8	Місцева стійкість полиці	7.22, 7.23*, 7.26*, 7.27*	$b_{ef}/t \leq [b_{ef}/t]$
9	Місцева стійкість стінки	7.14*, 7.16*, 7.17*, 7.18*, 7.20*, 7.21*	$h_{ef}/t \leq [h_{ef}/t], h_{ef}/t \leq [h_{ef}/t]$, враховується часткова втрата стійкості стінкою

Елементи під дією згинаючих моментів

№	Тип перевірки	Джерело або пункт СНИП	Формула перевірки, примітки
1	Міцність по нормальним напруженням	5.12, 5.17, 5.18	$\frac{M}{W_{\min}} \leq R_y \gamma_c;$ $\frac{M_x}{I_x} y \pm \frac{M_y}{I_y} x \leq R_y \gamma_c;$ $\frac{M}{c_1 W_{\min}} \leq R_y \gamma_c;$

№	Тип перевірки	Джерело або пункт СНиП	Формула перевірки, примітки
			$\frac{M_x}{c_x W_{x,\min}} + \frac{M_y}{c_y W_{y,\min}} \leq R_y \gamma_c$
2	Міцність по дотичним напруженням	5.12	$\frac{Q \cdot S}{I \cdot t_w} \leq R_s \cdot \gamma_c$
3	Міцність по приведеним напруженням	5.14	$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1,15 \cdot R_y \gamma_c$, без врахування місцевого напруження σ_{loc}
4	Стійкість балки	5.15, 5.16	$l_{ef}/b \leq [l_{ef}/b]$; $\frac{M}{\varphi_b W_c} \leq R_y \cdot \gamma_c$
5	Стійкість полиці	7.24	$b_{ef}/t \leq [b_{ef}/t]$
6	Стійкість стінки:		
6.1	без ребер жорсткості	7.3, 7.10	$\bar{\lambda}_w \leq 3.2$
6.2	з поперечними ребрами, при пружній роботі балки	7.4, 7.6, 7.9, 7.10	$\sqrt{(\sigma/\sigma_{cr})^2 + (\tau/\tau_{cr})^2} \leq \gamma_c$
6.3	з поперечними ребрами, пластична робота	7.2, 7.5, Посібник з проектування сталевих конструкцій п.21.23	$M_{\max} \leq R_y \cdot \gamma_c \cdot h_{ef}^2 \cdot t_w \cdot (A_f/A_w + \alpha)$
7	Прогин	СНиП 2.01.07-85 «Навантаження	$\frac{f}{L} \leq \left[\frac{f}{L} \right]$, крім п. 10.10

№	Тип перевірки	Джерело або пункт СНИП	Формула перевірки, примітки
		і впливи», розд. 10	

Елементи під дією осової сили та згинаючих моментів

№	Тип перевірки	Джерело або пункт СНиП	Формула перевірки, примітки
1	Міцність	5.1, 5.25, 5.28	$\frac{N}{A} \leq R_y \cdot \gamma_c;$ $\left(\frac{N}{AR_y \gamma_c} \right)^n + \frac{M_x}{W_{x,c} R_y \gamma_c} + \frac{M_y}{W_{y,c} R_y \gamma_c} \leq R_y \gamma_c$ $\frac{N}{A} \pm \frac{M_x}{I_x} y \pm \frac{M_y}{I_y} x \leq R_y \gamma_c$ $\left \frac{N}{A} - \frac{M}{\delta W} \right \leq \frac{R_u \cdot \gamma_c}{\gamma_u}$
2	Стійкість колони в площині дії моменту	5.3, 5.6, 5.27*, 5.32, 7.20*	$\frac{N}{\varphi_c A} \leq R_y \cdot \gamma_c; \quad \frac{N}{\varphi_x A} \leq R_y \cdot \gamma_c$
3	Стійкість колони із площини дії моменту	5.3, 5.6, 5.26, 5.27*, 5.30, 5.31, 5.32, 7.20*	$\frac{N}{c \varphi_y A} \leq R_y \cdot \gamma_c$
4	Стійкість колони, під дією моменту в двох площинах	5.34 5.35	$\frac{N}{\varphi_{ex} A} \leq R_y \cdot \gamma_c$
5	Гнучкість колони	6.15*	$\lambda \leq [\lambda]$
6	Гнучкість гілки колони	5.6	$\lambda_{\text{гілки}} \leq 40 \quad - \quad \text{для колон з планками}$

	на ділянці між вузлами з'єднувальної решітки		$\lambda_{сілки} \leq \lambda_{ef, колони} \leq 80$ – для колон зі з'єднувальною решіткою
7	Стійкість поясу згинального елемента	7.22 7.24	Вимоги п.5.25*
8	Місцева стійкість полиці	7.22, 7.23*, 7.26*, 7.27*	$b_{ef}/t \leq [b_{ef}/t]$
9	Стінки центрально- і позацентрово-стиснутих елементів	7.14*, 7.16*, 7.17*, 7.18*, 7.20*, 7.21*	$h_{ef}/t \leq [h_{ef}/t], h_{ef}/t \leq [h_{ef}/t]$

Канати

№	Тип перевірки	Джерело або пункт СНИП	Формула перевірки, примітки
1	Міцність	Посібник з проектування сталевих конструкцій п.3.14	$\frac{N}{A} \leq \frac{\gamma_c \gamma_k}{\gamma_u \gamma_m \gamma_n} R_{un} \leq 0,7 R_{un}$
2	Міцність	СНИП 2.05.03-84 п. 4.33	$\frac{N}{A} \leq R_{dh} \cdot m \cdot m_1$, де $R_{dh} = 0.63 \cdot R_{bn}$ або $R_{dh} = k \cdot \frac{\sum P_{un}}{A \cdot \gamma_m}$

Додаток 2. Відповідність об'єктів моделі ЛІРА-КМ та об'єктів AutoCAD

Елемент моделі ЛІРА-КМ	Атрибут	Об'єкти AutoCAD	Керус	Примітка
Стержень	Тіло	3D тіло		
	Вісь вставки	Відрізок	початком і кінцем стержня	
	Центральна вісь	Відрізок	початком і кінцем стержня	
	В одну лінію	Відрізок		коротший за вісь вставки на стиковочні об'єкти вузлів на початку і в кінці стержня
	Штриховка на розрізах	Штрихова		є тільки на розрізах і на кінцях стержня моделі вузла
Координатна вісь	Верхній кружок	Круг	розміром всіх кружків	є тільки на планах
	Нижній кружок	Круг	координатних осей на листі	
	Напис в верхньому кружку	Текст	ім'ям осі	є тільки на планах
	Напис в нижньому кружку	Текст		
	Вісь	Відрізки	початком і кінцем осі	
Збірочний вузол	Координатні осі	Входження блока	розташуванням моделі вузла у моделі будівлі	
	Стиковочний об'єкт	Полілінії	зоною, попавши в яку стержні включаються у вузол	переносити полілінії слід перпендикулярно їхній площині
Пластина	Тіло	3D тіло		
	Контрольний контур	Полілінія	контуром і розташуванням пластини	
	Штриховка на розрізах	Штрихова		є тільки на розрізах

(продовження таблиці на наступній сторінці)

Додаток 2. Відповідність об'єктів моделі ЛПА-КМ та об'єктів AutoCAD (продовження)

Елемент моделі ЛПА-КМ	Атрибут	Об'єкти AutoCAD	Керус	Примітка
Зварний шов	Контрольний контур	Полілінії	контуром і розташуванням шва	
	Лінії	Відрізки		сталь залежить від проєкції
	Текст	Текст	позначенням	змінюючи назву, не змінюємо катет шва
	Затушовка	Штрихова		виникає на перпендикулярних проєкціях
Серія болтів / отворів	Осі	Відрізки		
	Контури	Області		
	Гайки збоку	Відрізки		є тільки на видах, перпендикулярних осі болта
	Перехрестя	Відрізки		немає на проєкціях, перпендикулярних осям отворів
	Заливка	Штрихова		
	Маркери для редагування	Точки	контуром і розташуванням серії	
	Сіть	Полілінії		немає при довільному розташуванні болтів або отворів серії
Тіло / Скважина	Відрізки	довжиною болтів / глибиною отворів		
Виріз	Вирізаюче тіло	3D тіло		
	Контрольні лінії	Полілінії Відрізок	контуром і розташуванням вирізу глибиною вирізу	
Креслення	Рамка креслення	Відрізки	контуром і розташуванням креслення	
	Назва креслення	Текст	назвою креслення	
Найменування вузла	Внутрішній кружок	Круг	розташуванням на листі, розміром всіх найменувань вузла на листі	є тільки на листах креслень
	Зовнішній кружок	Круг	розташуванням на листі, розміром	

Елемент моделі ЛІРА-КМ	Атрибут	Об'єкти AutoCAD	Керус	Примітка
	Текст	Текст	всіх найменувань вузла на листі текстом в центрі кружка	

(закінчення на наступній сторінці)

Додаток 2. Відповідність об'єктів моделі ЛІРА-КМ та об'єктів AutoCAD (закінчення)

Елемент моделі ЛІРА-КМ	Атрибут	Об'єкти AutoCAD	Керус	Примітка
Позначення вузла	Центри	Точки	розташуванням еліпса	є тільки на листах креслень чи на кресленнях ЛІРА-КМ
	Еліпс	Полілінія	розміром еліпса	
	Виноска	Полілінія	розміром виноски	
	Текст знизу виноски	Текст	текстом знизу виноски	
	Текст згори виноски	Текст	текстом згори виноски	
Висотна відмітка	Стрілка	Відрізок	розміром всіх стрілок висотних відміток на листі	є тільки на листах креслень
	Полічка	Відрізок	висотою	початково текст показує дійсну відмітку
	Виноска	Відрізок	напрямоком полічки виноски	
	Текст	Текст	текстом	
Позначення розрізу або вигляду	Стрілка	Полілінія		
	Заливка стрілки	Штрихова		
	Риски	Відрізки	Розташування розрізу	
	Текст	Текст	Текстом у стрілок	
Вузол скінченно-елементної моделі	В'язі	Полілінія		є тільки в вузлах з в'язями
	Маркер вузла	Точка		
	Текст	Текст		
Скінченний елемент-стержень	Осі місцевої системи координат	Входження блока		
	Вісь стержня	Відрізок		
	Шарніри	Круг		є тільки в елементах з шарнірами
	Текст	Текст		

Примітки:

1. У графі "Керус" приводиться інформація, що змінюється при редагуванні об'єкта AutoCAD в елементі моделі ЛІРА-КМ.

ДОДАТОК 3.

ОПИС СТРІЧКОВОГО ІНТЕРФЕЙСУ ПК ЛІРА-САПР³

Стрічковий вид інтерфейсу – робочий простір, заснований на панелях інструментів, розділених вкладками, на яких відображаються інструменти та елементи управління, призначені для розв’язання певного завдання. Вкладки стрічки відповідають етапам роботи з моделлю: створення схеми, аналіз напружено-деформованого стану, конструювання.

Стрічка розділена такими вкладками:

- створення та редагування;
- розширене редагування;
- розрахунок;
- аналіз;
- розширений аналіз;
- конструювання.

Вибираючи певний тип об’єкта або виконуючи деякі команди, замість інструментальної панелі або діалогового вікна виводяться контекстні вкладки стрічки. Кожна з контекстних вкладок містить операції, які належать до виділених об’єктів або вибраної команди. Контекстна вкладка закривається після завершення роботи з командою або зняття виділення з об’єктів.

Контекстні вкладки, призначені для роботи з вузлами чи елементами схеми, містять команди тільки щодо створення та редагування схеми й не можуть бути викликані з вкладок **Аналіз**, **Розширений аналіз**, **Конструювання**.

З виділенням об’єктів активуються такі контекстні вкладки:

- робота з вузлами;
- робота зі стрижнями;
- робота з пластинами;
- робота з об’ємними скінченними елементами (СЕ);
- робота з одновузловими СЕ.

³*Інформація про торгову марку:*

На території України ПК ЛІРА-САПР поширюється під торговою маркою МІРАЖ.

Компанія ТОВ «ЛІРА САПР» є правласником торгових марок ЛІРА, LIRA на території Російської Федерації, Латвії, Литви, Молдови, Грузії, Узбекистану, Туркменістану, Франції та торгових марок МІРАЖ, MIRAGE на території України.

Крім вкладок і контекстних вкладок існують також три вкладки, які викликають окремі режими роботи програми:

- редактор контурів;
- просторова модель (3D графіка);
- триангуляція.

Крім вищезазначених вкладок з обраним стилем **Стрічка** активуються також дві панелі інструментів:

- панель інструментів **Вибір**;
- панель інструментів **Обертання**.

ЕЛЕМЕНТИ СТРИЧКОВОГО ІНТЕРФЕЙСУ

СТРИЧКОВИЙ ІНТЕРФЕЙС ПК ЛІРА-САПР 2012 СКЛАДАЄТЬСЯ З ТАКИХ ПУНКТИВ:

вкладка (рис. 1) – елемент графічного інтерфейсу користувача, який дозволяє в одному вікні програми перемикання або між кількома відкритими документами, або між наборами елементів інтерфейсу, об'єднаними в логічні групи. Вкладка являє собою «виступ» з написом, розміщеним на межі виділеної під змінний вміст частини екрана. Клацання мишею по вкладці робить її активною, і на керованій вкладками частині екрана відображається відповідний їй вміст. Вкладки розміщуються одна за одною горизонтально;

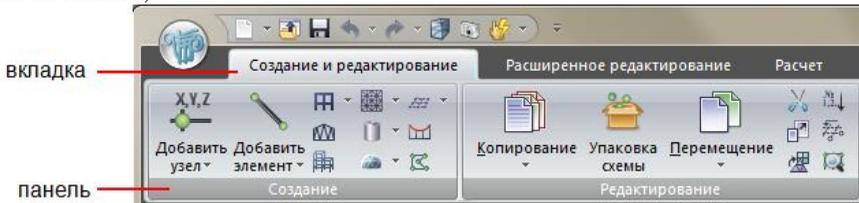


Рис. 1. Вкладки та панелі стрічки

контекстні вкладки стрічки (рис. 2) – під час вибору певного типу об'єкта або виконання певних команд замість інструментальної панелі або діалогового вікна виводиться особлива контекстна вкладка стрічки, яка закривається по завершенні роботи з об'єктами та зняття з них виділення.

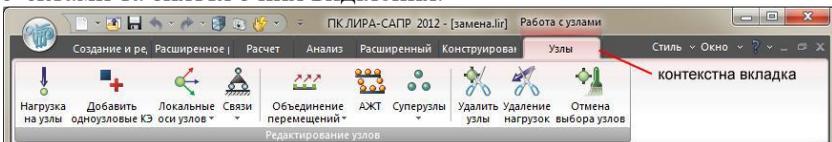


Рис. 2. Контекстна вкладка стрічки **Робота з вузлами**

Кожна вкладка складається з панелей.

Панель (див. рис. 1) – організація використовуваних команд у групи, подібні до панелей інструментів. Панелі стрічки дають змогу здійснювати швидкий виклик команд і при цьому скорочують кількість наявних на екрані елементів інтерфейсу.

Організація кнопок на панелях стрічки

Кнопки на панелях стрічки організовані в кількох видах:

- великі кнопки з текстом;
- великі кнопки з текстом у вигляді списків, що розкриваються (рис. 3);

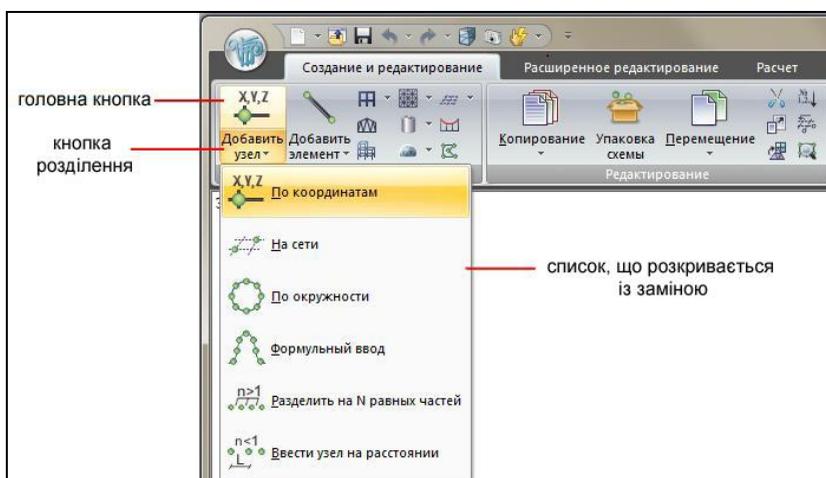
- малі кнопки;

- малі кнопки у вигляді списків, що розкриваються;

- малі кнопки з текстом.

Рис. 3. Організація роботи кнопок на панелях стрічки

Списки кнопок панелі стрічки, що розкриваються, можуть містити цілий ряд команд, близьких за призначенням, займаючи при цьому на панелі стрічки місце всього однієї команди. Їх



використовують для економії місця. Команди, що містяться в списку, можна запускати клацанням по головній кнопці або вибравши команду з самого списку (див. рис. 3), коли натиснута кнопка головна або кнопка поділу, залежно від налаштування властивостей списку.

Панель інструментів швидкого доступу (рис. 4) – панель швидкого доступу розміщується у верхній частині вікна програми (вздовж стрічки, над або під нею) і забезпечує безпосередній доступ до певного набору команд. Ця панель є настрайованою й містить набір команд, що не залежать від вкладки, яка відображається у даний момент на стрічці.

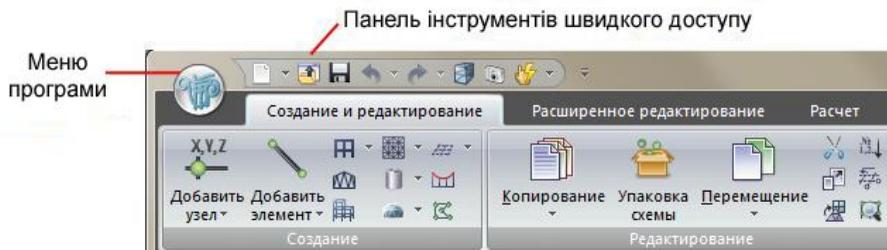


Рис. 4. Панель інструментів швидкого доступу

Меню програми (рис. 5) – меню для роботи з файлами документа та налаштуванням параметрів для графічного відображення схеми й розрахунку.

Головна сторінка меню програми містить список документів, які відкривалися останніми.

Меню «Програми»

Меню програми (див. рис. 4, рис. 5) – операції, що забезпечують роботу з файлами, які використовує ВІЗОР-САПР.

Для управління завданням загалом застосовуються команди, зібрані в меню програми. Меню складається з двох панелей: у лівій відображаються групи команд для роботи з файлами, а у правій – список команд, що містяться у виділеній групі команд. Підведенням курсора до будь-якого пункту меню у правій панелі відкривають список команд, який входить до групи, що виділяється. У нижній частині меню є кнопки **Параметри** для налаштування програми й **Вихід** із ПК ЛПА-САПР.

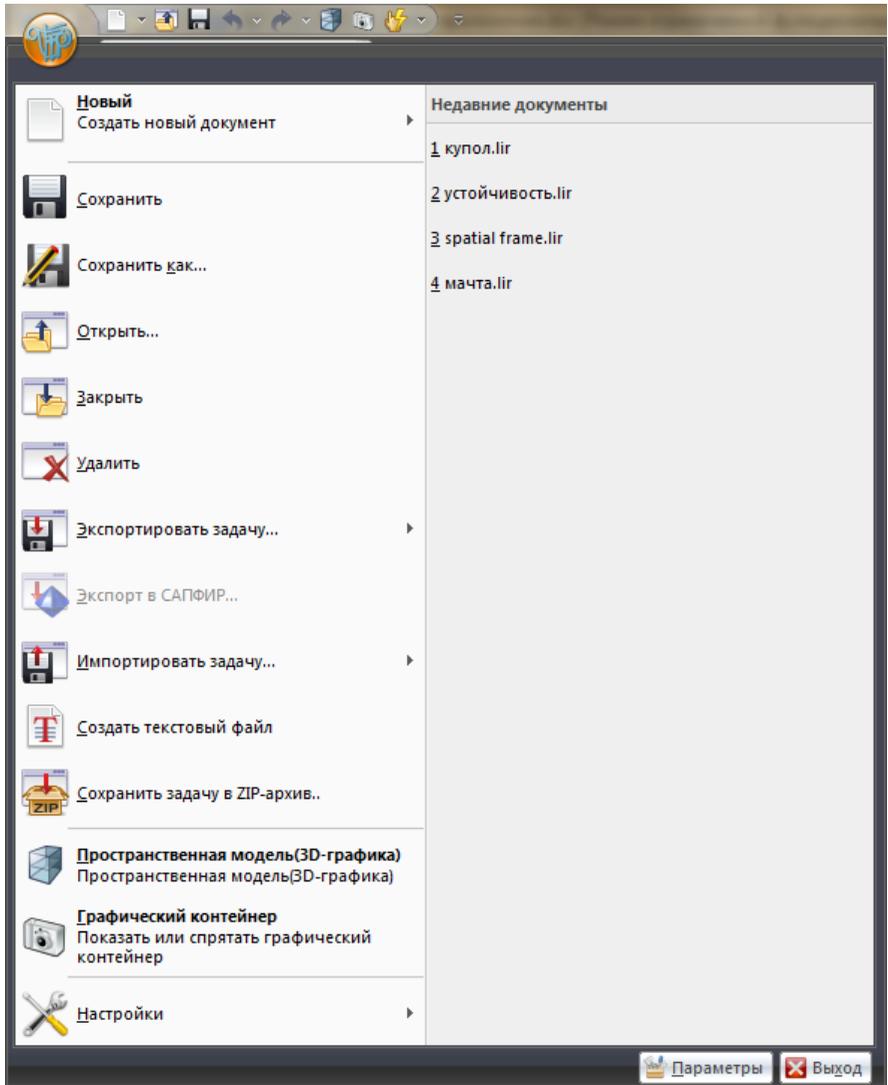


Рис. 5. Розгорнуте Меню програми

Рядок стану (рис. 6) – це панель у нижній частині вікна, яка призначена для виведення підказок до пунктів меню, індикації елементів, а також містить блоки завантаження розрахункової схеми, завантаження аналізу (у вкладках аналізу результатів) і блок конструювання.

рядок
стану

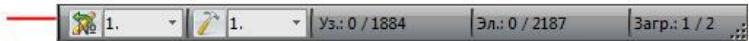


Рис. 6. Рядок стану

Меню **Програми** містить такі групи команд:

- **Новий** (рис. 7) – група команд для створення файлу нового завдання, з'являється у правій частині вікна розгорнутого меню програми:

- перша ознака схеми – два ступені свободи у вузлі (переміщення X, Z) XOZ ;

- друга ознака схеми – три ступені свободи у вузлі (переміщення X, Z, U_y) XOZ ;

- третя ознака схеми – три ступені свободи у вузлі (Z, U_x, U_y) XOY ;

- четверта ознака схеми – три ступені свободи у вузлі (X, Y, Z);

- п'ята ознака схеми – шість ступенів свободи у вузлі (X, Y, Z, U_x, U_y, U_z);

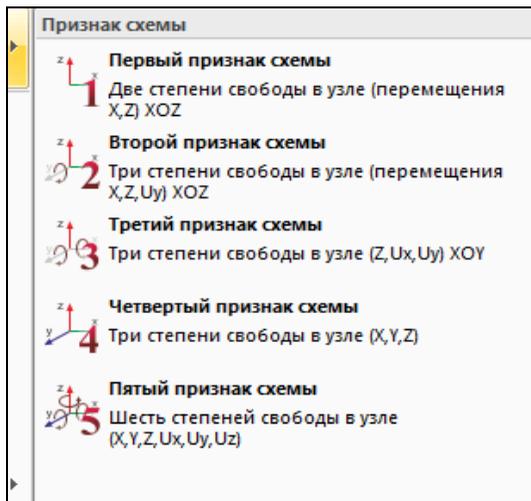


Рис. 7. Група команд **Новий**

- Зберегти – збереження поточного завдання під вихідним ім'ям;
- Зберегти як – збереження поточного завдання під іншим ім'ям;
- Відкрити – завантаження створеного раніше файлу з вихідними даними;
- Закрити – закінчити роботу з поточним завданням;

- Видалити – виклик діалогового вікна для видалення файлів проекту;
- Експортувати завдання (рис. 8) – група команд для експорту розрахункової схеми до інших програм:
 - DXF;
 - Модель STARK-ES (*.sli);
 - Файли генератора скінченно-елементної сітки Gmsh (*.msh);
 - Файли WaveFront Obj (*.obj);

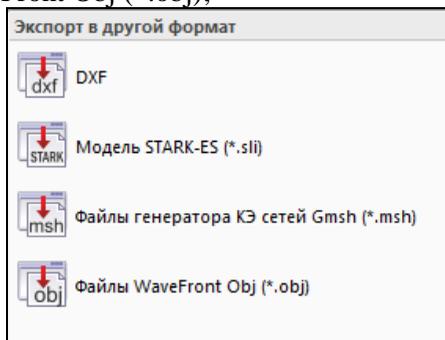


Рис. 8. Група команд **Експортувати завдання**

- Експорт у САПФІР – експорт результатів розрахунку армування до ПК САПФІР;
- Імпортувати завдання (рис. 9) – група команд для імпорту розрахункових схем у ПК ЛІРА-САПР:
 - Файли завдань (*.#00.*) (*.#00.*) – двійкові файли виконаних завдань;
 - Текстові файли (*.txt) – текстові файли, що містять інформацію про завдання на вхідній мові процесора;
 - dxf файли (*.dxf) – файли для передання даних про геометрію конструкції з програми AutoCAD;
 - Файли s2L (САПФІР) (*.s2l) – файли для передання аналітичної моделі з ПК САПФІР;
 - Моделі ArchiCad (*.mdb) – файли для передання даних про конструкції з програми ArchiCAD;
 - Моделі Hypersteel (*.stp) – файли для передання даних про конструкції з програми HyperSteel;
 - Моделі STARK-ES (*.sli) – файли для передання даних про конструкції з програми STARK ES;

- Поповерховий план DXF (*.dxf) – файли для передання даних про конструкції з поповерхових планів DXF;
- BoCAD DStV PSS (*.stp) – файли для передання даних про конструкції з програми BoCAD;
- Модель КМ-САПР (*.LiraKM) – файли для передання даних про конструкції з програми КМ-САПР;
- AdvanceSteel DStV PSS (*.stp) – файли для передання даних про конструкції з програми AdvanceSteel;
- IFC 2x (*.ifc) файли для передання даних із програм Allplan, Revit Architecture, Architecture Desktop;
- Файли генератора скінченно-елементної сітки Gmsh (*.Msh) – файли для передання даних про конструкції з генератора скінченно-елементної сітки Gmsh;
- Файли STL (3D стереолітографія) (*.Stl) – файли для передання інформації про тривимірну модель об'єкта з формату STL;
- Файли Wavefront Obj (*.Obj) – файли для передання даних про геометрію та інші властивості об'єкта з WaveFront Obj;

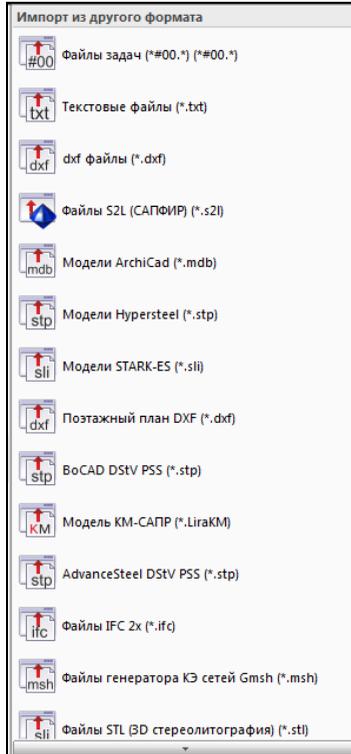


Рис. 9. Группа команд **Імпортувати завдання**

- Створити текстовий файл – на основі сформованої розрахункової схеми створюється текстовий файл формату ім'язавдання.txt, що містить всю інформацію про завдання на вхідній мові процесора;
- Зберегти **завдання** в ZIP-архів – ZIP-архівування файлів вихідних даних, пов'язаних із завданням, що розглядається;
- Просторова модель (3D графіка) – просторове відображення створеного об'єкта й надання інструментарію для його детального дослідження з різних точок зору;
- Графічний контейнер – призначений для документування видів розрахункової схеми;
- Налаштування (рис. 10) – група команд для налаштування ПК ЛІРА-САПР.

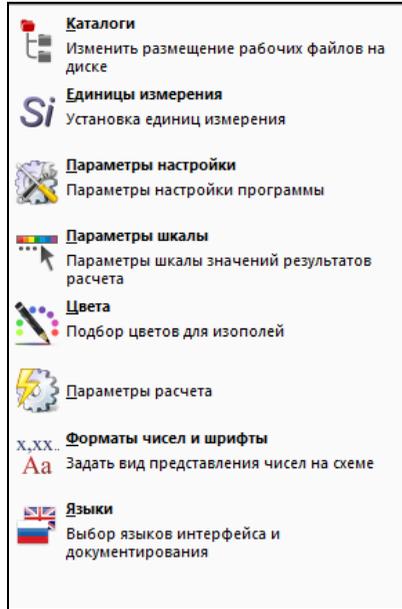


Рис. 10. Группа команд **Налаштування ПК ЛІРА-САПР**

Вкладка «Створення та редагування»

Вкладка Створення та редагування (рис. 11) містить набір панелей і призначена для операцій зі створення та базового редагування геометрії схеми, призначення жорсткостей і формування завантажень:



Рис. 11. Вкладка Створення та редагування

• Створення (рис. 12) – операції зі створення регулярних фрагментів і сіток, ферм, просторових рам, генерація різних поверхонь, додавання вузлів та елементів, триангуляція контурів;

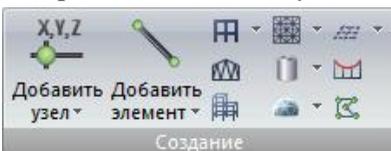


Рис. 12. Панель Створення

• **Редагування** (рис. 13) – операції з базового редагування схеми (копіювання, переміщення, масштабування), упаковка схеми, редагування триангуляційної сітки;

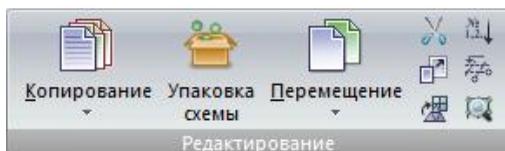


Рис. 13. Панель **Редагування**

• **Жорсткості та в'язі** (рис. 14) – операції з призначення жорсткостей і матеріалів елементам схеми, моделюванню закріплень, завданню коефіцієнтів постелі, об'єднанню переміщень та генерації АЖТ;

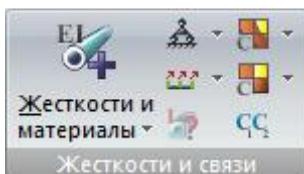


Рис. 14. Панель **Жорсткості та в'язі**

• **Навантаження** (рис. 15) – операції з формування завантажень та призначення навантажень на вузли та елементи схеми;

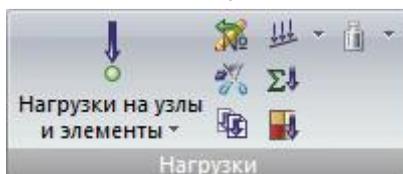


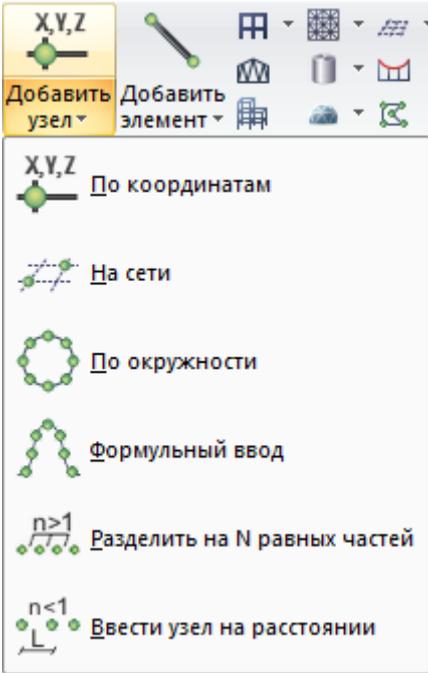
Рис. 15. Панель **Навантаження**

• **Інструменти** (рис. 16) – операції з налаштування графічного відображення результатів та вихідних даних схеми.



Рис. 16. Панель **Інструменти**

Панель **Створення** (див. рис. 12) містить такі команди:



- **Додати вузол** (рис. 17) – список, що розкривається із заміною, який містить операції для додавання вузлів у розрахункову схему;

Рис. 17. Список, що розкривається, **Додати вузол**

- **Додати елемент** (рис. 18) – список, що розкривається із заміною, який містить операції для додавання елементів у розрахункову схему;

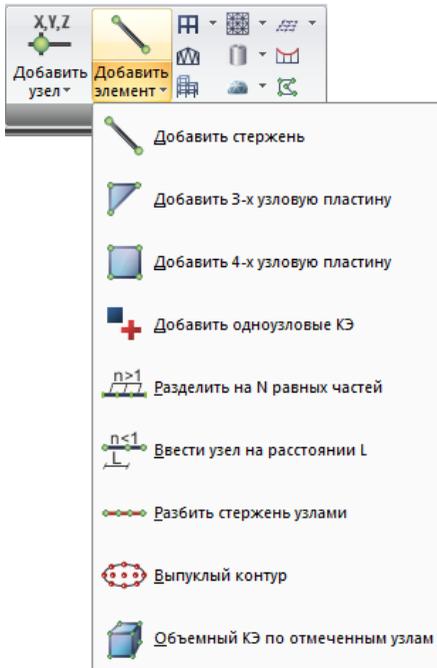


Рис. 18. Список, що розкривається, **Додати елемент**

• **Генерація регулярних фрагментів та сіток** (рис. 19) – список, що розкривається із заміною, який містить операції для завдання регулярних фрагментів – рам, ростверків, балок-стінок, плит та плоских оболонок;

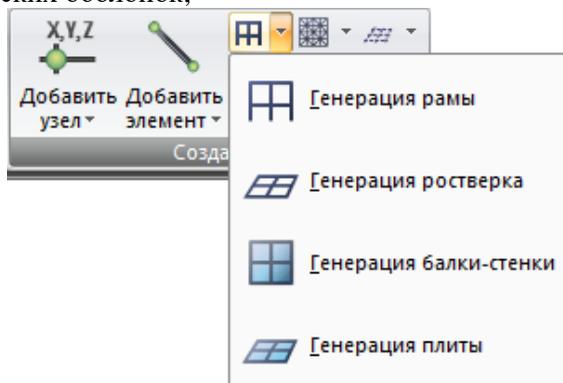


Рис. 19. Список, що розкривається, **Генерація регулярних фрагментів та сіток**

- **Генерація ферм** – виклик діалогового вікна для вибору необхідної конфігурації ферми за обрисом поясів, типом решітки ферми та завданням необхідних параметрів;
- **Генерація просторових рам** – виклик діалогового вікна для створення фрагментів просторових рам;
- **Створення та тріангуляція контурів** (рис. 20) – список, що розкривається із заміною, який містить операції для створення плоских фрагментів схем та тріангуляції цих фрагментів;

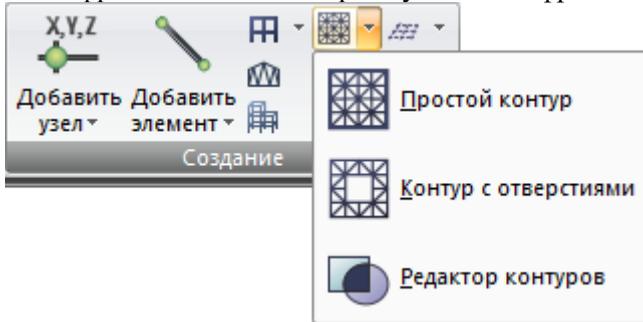


Рис. 20. Список, що розкривається, Створення та тріангуляція контурів

- **Поверхні обертання** (рис. 21) – список, що розкривається із заміною, який містить операції для генерації стрижньових або пластинчастих поверхонь обертання, а також операції зі створення об'єктів, заданих переміщенням або обертанням твірної;

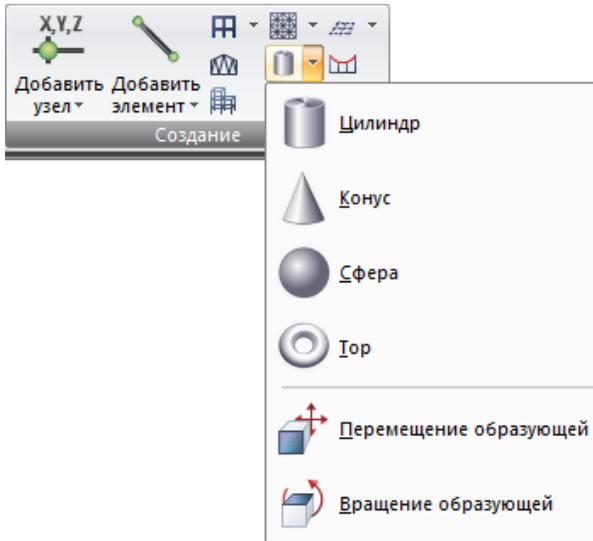


Рис. 21. Список, що розкривається, Поверхні обертання

• **Геодезичний купол** (рис. 22) – список, що розкривається із заміною, який містить операції для задання геодезичних куполів та їх елементів, поверхонь $z = f(x, y)$ і складчастих параболоїдів обертання;

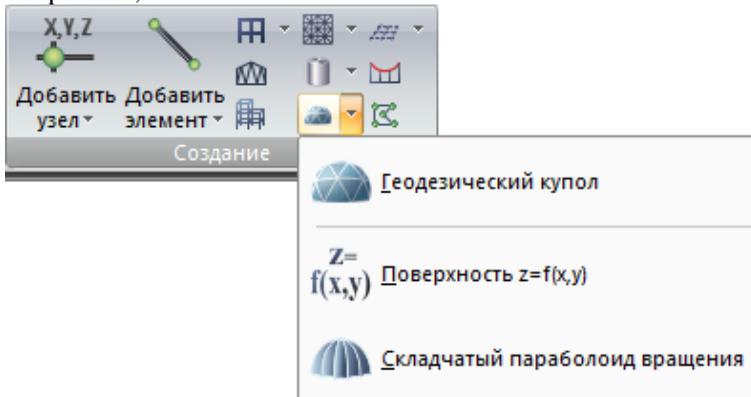


Рис. 22. Список, що розкривається, Геодезичний купол

• **Генерація прямокутної сітки** (рис. 23) – список, що розкривається, який містить операції з генерації прямокутної сітки й видалення прямокутної сітки;

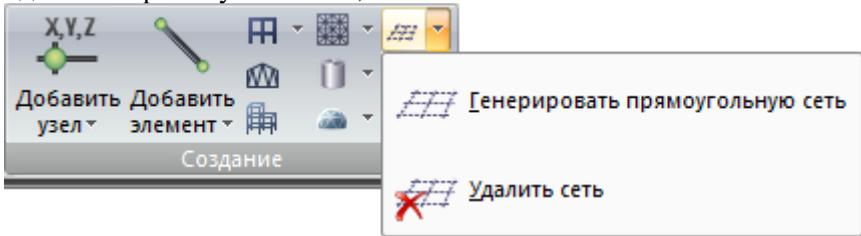


Рис. 23. Список, що розкривається, Генерація прямокутної сітки

• **Ланцюгова лінія** – виклик діалогового вікна для автоматичного задання ниток та вантів;

• **Додати елемент, перелічивши вузли**, – виклик діалогового вікна для задання нового елемента за допомогою переліку номерів вузлів, уже існуючих на схемі.

Панель Редагування (див. рис. 13) містить такі команди:

• **Копіювання** (рис. 24) – список, що розкривається із заміною, який містить операції копіювання об'єктів;

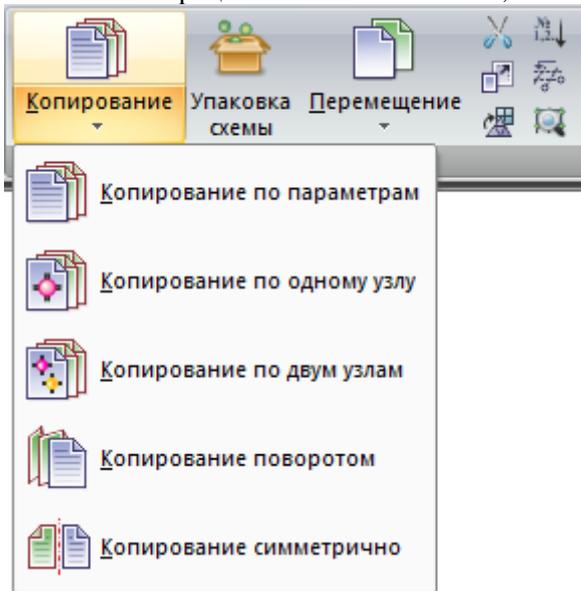


Рис. 24. Список, що розкривається, **Копіювання**

• **Упаковка схеми** – виклик діалогового вікна для управління параметрами упаковки створеної схеми після виконання операцій **Збирання**, **Копіювання** та інших операцій з геометрією;

• **Переміщення** (рис. 25) – список із заміною, що розкривається, який містить операції переміщення об'єктів, за параметрами;

• **Видалити вибрані об'єкти** – видалення попередньо відмічених на схемі вузлів та елементів;

• **Змінити розмір** – зміна розміру вибраного фрагмента схеми по прямій (в одному напрямку), у площині (у двох напрямках) або у просторі (у трьох напрямках);

• **Перетворення сітки пластинчастих скінченних елементів** – виклик діалогового вікна для корегування попередньо сформованої сітки скінченних елементів, що моделює як плоскі, так і просторові поверхні;

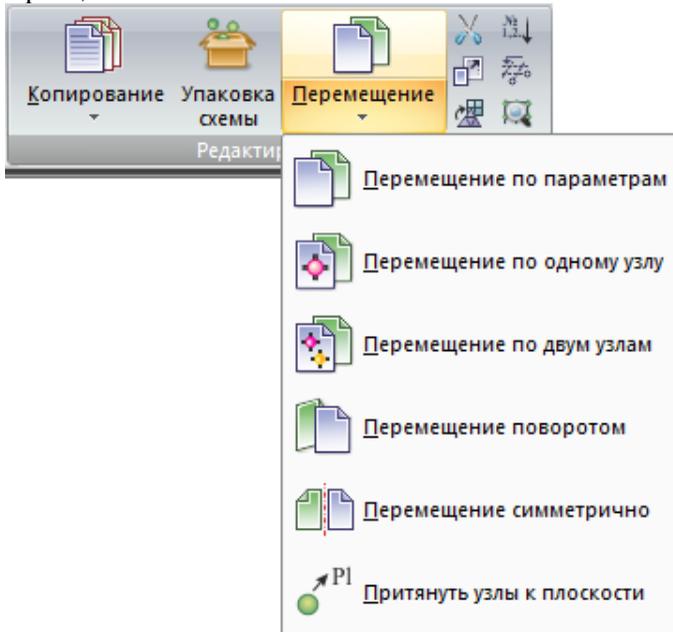


Рис. 25. Список, що розкривається, **Переміщення**

- **Перенумерація** – виклик діалогового вікна для задання інформації, необхідної для впорядкування нумерації вузлів та/або елементів;

- **Будівельні осі та відмітки** – виклик діалогового вікна для установки на схемі будівельних осей та відміток;

- **Ознака схеми** – виклик діалогового вікна для вибору ознаки схеми за ступенями свободи, а також задання (для нового завдання) або зміна (для існуючого завдання) імені та шифру завдання, які використовуються розрахунковим процесором для формування імен файлів результатів.

Панель **Жорсткості та в'язі** (див. рис. 14) містить такі команди:

- **Жорсткості та матеріали** (рис. 26) – список, що розкривається, який містить операції з вибору необхідних типів (параметрів) жорсткості з бібліотеки характеристик жорсткості, призначення розрахункових і нормативних характеристик для матеріалів та присвоєння їх скінченним елементам схеми, а також виклик систем КС-САПР (Конструктор перерізів) і КТС-САПР (Конструктор тонкостінних перерізів) для формування геометрії відповідно до нестандартних перерізів і нестандартних тонкостінних перерізів елементів конструкції та розрахунку їх характеристик жорсткості: залізобетону, сталі, КС-САПР (Конструктор Перерізів), КТС-САПР (Конструктор Тонкостінних Перерізів);

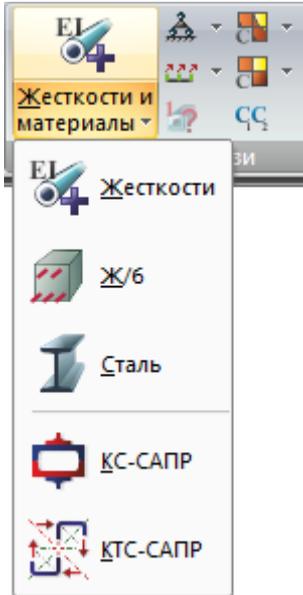


Рис. 26. Список, що розкривається, Жорсткості та матеріали

- **В'язі** (рис. 27) – список, що розкривається, який містить операції для вказування напрямків, за якими потрібно заборонити переміщення вузлів – X , Y , Z , UX , UY , UZ або видалення закріплень;

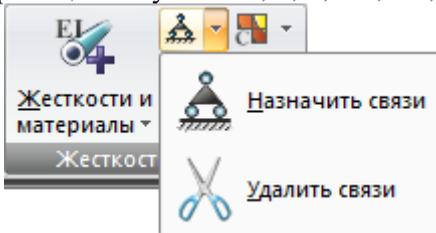


Рис. 27. Список, що розкривається, **В'язі**

- **Об'єднання переміщень** (рис. 28) – список, що розкривається із заміною, який містить операції зі створення груп об'єднання переміщень, моделювання шарніра у пластинах чи генерації абсолютно жорсткого тіла (АЖТ);

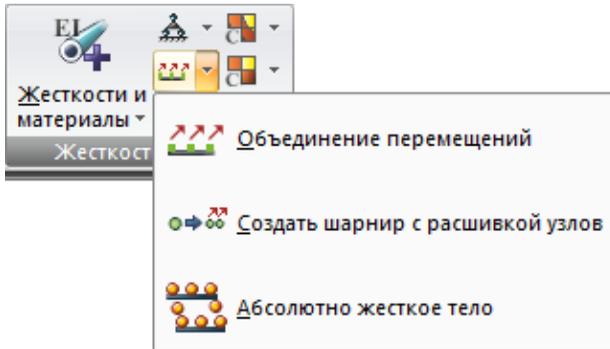


Рис. 28. Список, що розкривається, Об'єднання переміщень

- **Розрахункові жорсткості** – виклик діалогового вікна для перегляду й аналізу характеристик жорсткості, використаних для статичного/динамічного розрахунку й у режимах конструювання;
- **Ізополя (C_{1z} , C_{2z} , C_{1y} , C_{2y} , P_z)** (рис. 29) – список, що розкривається без команди за замовчуванням, містить операції для вибору напрямку відображення згладженого забарвлення пластин відповідно до значень у них коефіцієнтів постелі, а також заданого вертикального рівномірно розподіленого навантаження;

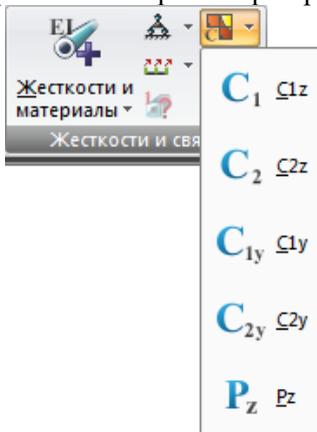


Рис. 29. Список, що розкривається, Ізополя (C_{1z} , C_{2z} , C_{1y} , C_{2y} , P_z)

- **Мозаїка (C_{1z} , C_{2z} , C_{1y} , C_{2y} , P_z)** (рис. 30) – список, що розкривається без команди за замовчуванням, містить операції для вибору напрямку відображення поелементного забарвлення

пластин відповідно до значень у них коефіцієнтів постелі, а також заданого вертикального рівномірно розподіленого навантаження;

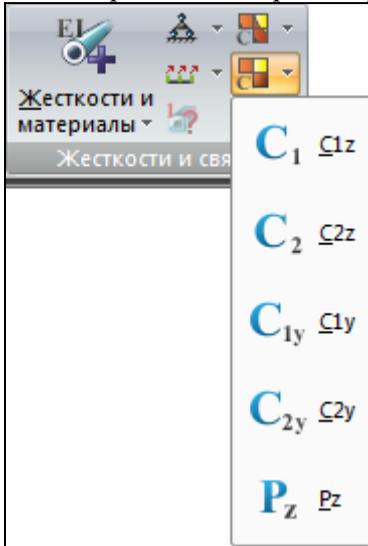


Рис. 30. Список, що розкривається, **Мозаїка** (C1z, C2z, C1y, C2y, Pz)

- **Коефіцієнти постелі C1, C2** – виклик діалогового вікна для задання коефіцієнтів постелі C1 та C2 на відмічений елемент або групу елементів.

Панель **Навантаження** (див. рис. 15) містить такі команди:

- **Навантаження на вузли та елементи** (рис. 31) – список, що розкривається із заміною, який містить операції із задання навантажень на вузли, стрижні, пластини, об'ємні елементи та суперелементи, а також для задання навантажень для розрахунку на динаміку в часі;

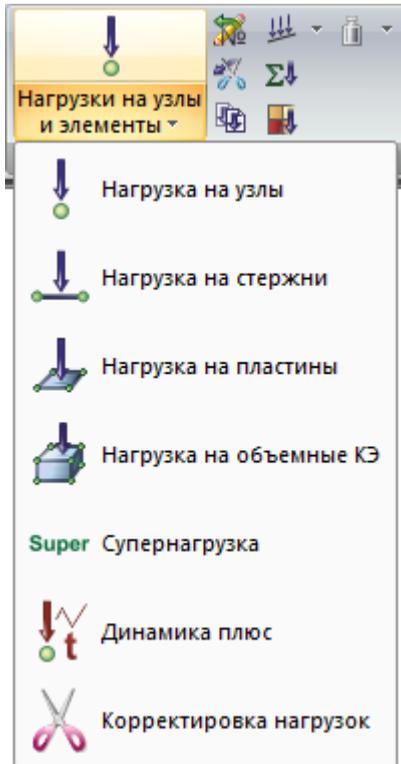


Рис. 31. Список, що розкривається, Навантаження на вузли та елементи

- **Вибір завантаження** – виклик діалогового вікна для створення номера поточного (активного) завантаження;
- **Видалити навантаження** – видалення всіх раніше заданих навантажень з відмічених вузлів та елементів. Під час виконання цієї операції з відмічених вузлів та елементів схеми видаляються всі раніше задані навантаження;
- **Копіювати поточне завантаження** – створення нового завантаження, повністю ідентичного поточному;
- **Навантаження-штамп** (рис. 32) – список, що розкривається із заміною, який містить операції із задання навантаження вздовж лінії (для стрижнів), уздовж лінії (для пластин і об’ємних СЕ), уздовж контуру (для пластин і об’ємних СЕ);

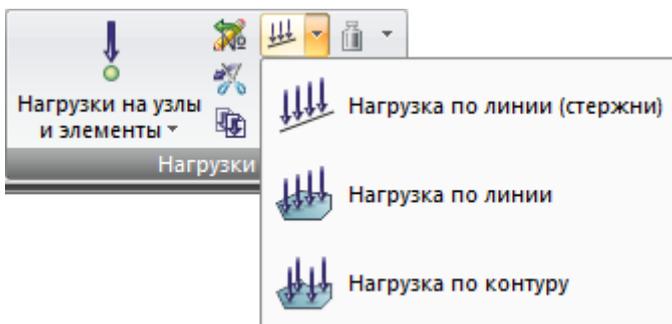


Рис. 32. Список, що розкривається, **Навантаження-штамп**

- **Підсумувати навантаження** – виклик діалогового вікна для підсумовування зовнішніх навантажень на зазначені вузли та елементи розрахункової схеми;

- **Мозаїка навантажень** – виклик діалогового вікна для управління виведенням мозаїки навантажень, прикладених до вузлів та елементів схеми;

- **Власна вага** (рис. 33) – список, що розкривається, який містить операції із задання або видалення власної ваги.

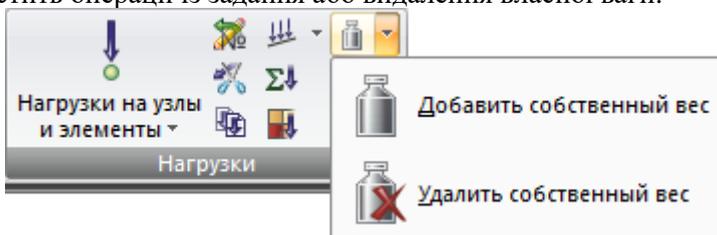


Рис. 33. Список, що розкривається, **Власна вага**

Панель **Інструменти** (див. рис. 16) містить такі команди:

- **Шкала** (рис. 34) – список, що розкривається, який містить операції з управління градуванням і колірним налаштуванням ізополів та мозаїк вихідних даних розрахункової схеми (C_1 , C_2 , P_z), результатів статичного/динамічного розрахунку, результатів перевірки та підбору сталевих перерізів, результатів визначення підбору площ арматури, а також операції, що дають змогу налаштувати оновлення шкали, оновлення шкали в режимі «Збільшити» та кольори графічного відображення об'єктів схеми на екрані;

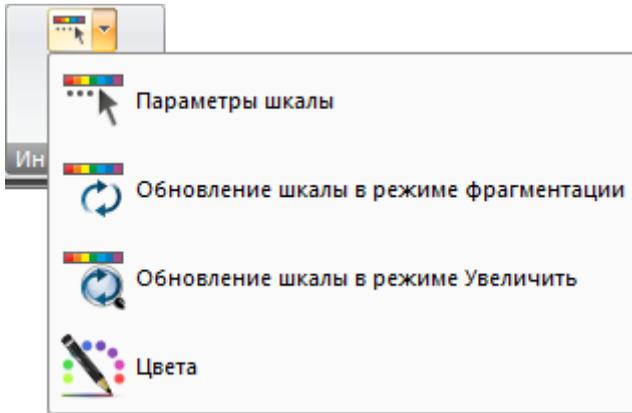


Рис. 34. Список, що розкривається, **Шкала**

• **Ізолінії** (рис. 35) – список, що розкривається, який містить операції з відображення або видалення чисельного значення ізоліній на схемі;

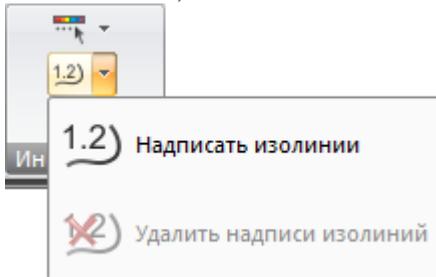


Рис. 35. Список, що розкривається, **Ізолінії**

• **Епюра за перерізом пластин** – виклик діалогового вікна для задання інформації для створення графіка ординат (епюр) на пластинах уздовж заданого відрізка.

Вкладка «Розширене редагування»

Операції з розширеного редагування схеми, задання параметрів для конструювання, збирання схем, робота з блоками та суперелементами.

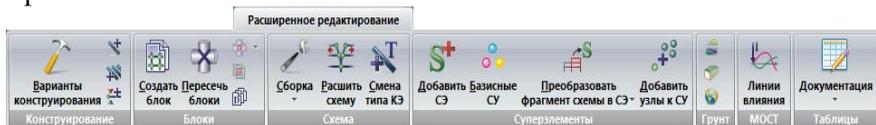


Рис. 36. Вкладка **Розширене редагування**

Вкладка **Розширене редагування** (див. рис. 36) містить такі панелі:

- **Конструювання** (рис. 37) – операції зі створення та призначення варіантів конструювання, роботи з варіантами, створення конструктивних або уніфікованих елементів для подальшого сталевого розрахунку або розрахунку армування;

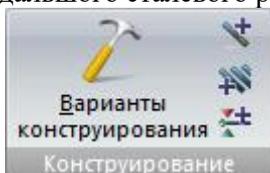


Рис. 37. Панель **Конструювання**

- **Блоки** (рис. 38) – операції зі створення та роботи з блоками й виділення вузлів та елементів перетину блоків;

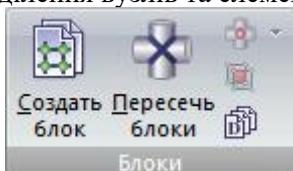


Рис. 38. Панель **Блоки**

- **Схема** (рис. 39) – операції з розширеного редагування схеми;

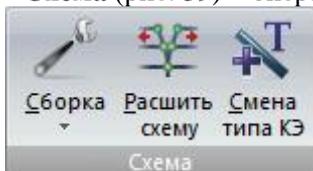


Рис. 39. Панель **Схема**

- **Суперелементи** (рис. 40) – операції зі створення й роботи із суперелементами;

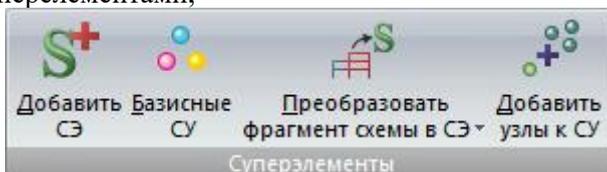


Рис. 40. Панель **Суперелементи**

- **Грунт** (рис. 41) – операції для виклику й управління параметрами роботи системи ГРУНТ, а також підключення ґрунтової основи;



Рис. 41. Панель **Грунт**

- **МОСТ** (рис. 42) – операції для роботи з лініями впливів;



Рис. 42. Панель **МОСТ**

- **Таблиці** (рис. 43) – операції, що дають змогу створювати, компонувати й виводити на друк таблиці, звіт або пояснювальну записку, необхідні для документування поточного завдання.

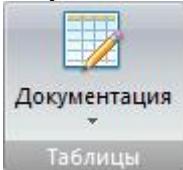


Рис. 43. Панель **Таблиці**

Панель **Конструювання** (див. рис. 37) містить такі команди:

- **Варіанти конструювання** – виклик діалогового вікна для створення варіанта конструювання основної схеми, вибору варіанта розрахунку перерізів та норм для залізобетонних і сталевих конструкцій;

- **Конструктивні елементи** – виклик діалогового вікна для об'єднання виділених стержньових елементів у конструктивний елемент;

- **Уніфікація елементів** – виклик діалогового вікна для об'єднання виділених стрижньових елементів в Уніфіковані групи;

• **Розкріплення для прогинів** – виклик діалогового вікна для створення або видалення розкріплень для прогинів у довільних вузлах виділених елементів.

Панель **Блоки** (рис. 38) містить такі команди:

• **Створити блок** – надати відміченому фрагменту схеми статус блока;

• **Перетнути блоки** – команда, яка виконує перетинання обраних блоків;

• **Відмітити об'єкти перетину** (рис. 44) – список, що розкривається із заміною, який містить операції з відмітки вузлів перетину та елементів перетину;

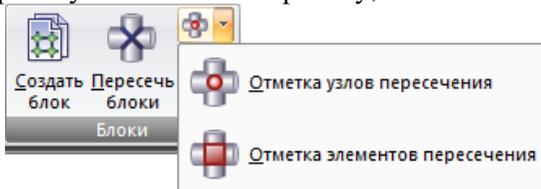


Рис. 44. Список, що розкривається, **Відмітити об'єкти перетину**

• **Область накладання елементів перетину** – відмітка фрагмента схеми, що містить вузли з координатами, які збігаються;

• **Операції з блоками** – виклик діалогового вікна для виконання операцій з блоками, номери яких попередньо відмічені в полі списку.

Панель **Схема** (рис. 39) містить такі команди:

• **Збирання** (рис. 45) – список, що розкривається, який містить операції, котрі дають змогу збирати розрахункову схему в одному робочому вікні з двох раніше створених у різних вікнах схем;

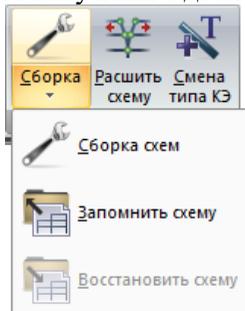


Рис. 45. Список, що розкривається, **Збирання**

- **Розшити схему** – команда, призначена для розшивки схеми, тобто для порушення спільності переміщень окремих фрагментів схеми вздовж лінії їх стику;

- **Зміна типу СЕ** – виклик діалогового вікна для зміни типу вже заданих скінченних елементів відповідно до нумерації типів у бібліотеці скінченних елементів.

Панель **Суперелементи** (рис. 40) містить такі команди:

- **Додати СЕ** – виклик діалогового вікна для вибору типу суперелементів з каталогу;

- **Базисні СВ** – призначення трьох базисних супервузлів схеми суперелемента для орієнтації у просторі основної схеми;

- **Перетворити фрагмент схеми на СЕ** (рис. 46) – список, що розкривається, який містить операції з перетворення фрагмента схеми на суперелемент і навпаки;

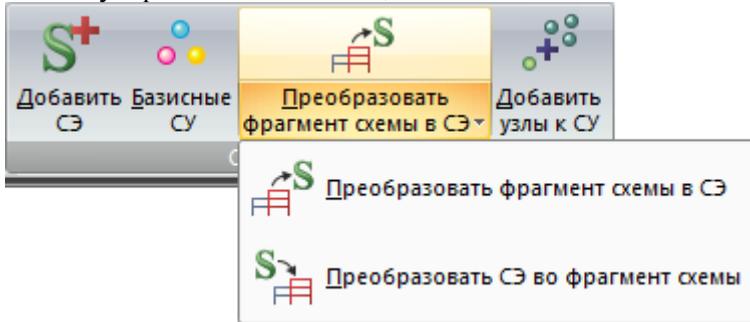


Рис. 46. Список, що розкривається, **Перетворити фрагмент схеми на СЕ**

- **Додати вузли до СВ** – операція, яка створює в основній схемі вузли, що збігаються за координатами з супервузлами приєднаного суперелемента.

Панель **Ґрунт** (рис. 41) містить такі команди:

- **Плоский ґрунтовий масив** – виклик системи ҐРУНТ для створення плоского ґрунтового масиву;

- **Тривимірний ґрунтовий масив** – виклик системи ҐРУНТ для створення тривимірного ґрунтового масиву;

- **Модель ґрунту** – діалогове вікно призначене для виклику і управління параметрами роботи системи ҐРУНТ, у якій виконується автоматизоване створення моделі ґрунту за заданими

геологічними умовами, а також обчислюються коефіцієнти постелі ґрунтової основи.

Панель **МОСТ** (див. рис. 42) містить команду:

- **Лінії впливу** – виклик діалогового вікна для задання інформації щодо ліній руху, навантажень, списку вузлів та елементів, в яких потрібно побудувати лінії впливу.

Панель **Таблиці** (див. рис. 43) містить такі команди:

- **Документація** (рис. 47) – список, що розкривається із заміною, який містить операції для формування документації щодо поточного завдання, таблиць щодо вихідних даних, створення і компонування креслень, формування звіту або пояснювальної записки.

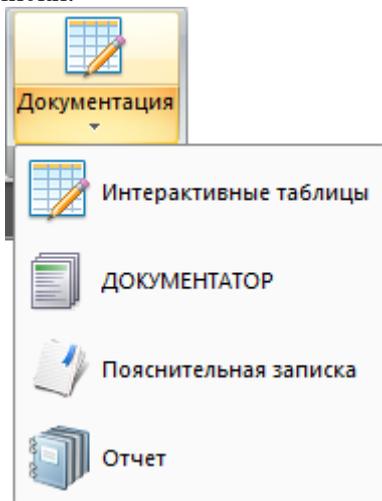


Рис. 47. Список, що розкривається, **Документація**

Вкладка «Розрахунок»

Операції із задання даних для статичного, динамічного й додаткових розрахунків, формування таблиць, контролю параметрів для розрахунку і запуску завдання на розрахунок.

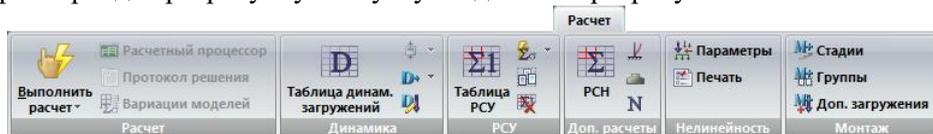


Рис. 48. Вкладка **Розрахунок**

Вкладка **Розрахунок** (див. рис. 48) містить такі панелі:

- **Розрахунок** (рис. 49) – зміна параметрів розрахунку для поточного завдання, завантаження даних у розрахунковий процесор і виконання розрахунку;

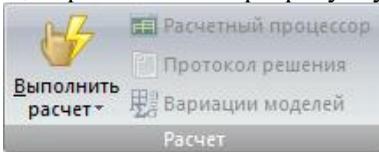


Рис. 49. Панель **Розрахунок**

- **Динаміка** (рис. 50) – операції, що дають змогу організувати розрахунок на динамічні дії, задання характеристик кожного конкретного динамічного впливу;

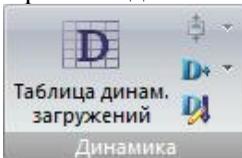


Рис. 50. Панель **Динаміка**

- **РСЗ** (рис. 51) – операції, що дають змогу здійснювати формування розрахункових сполучень зусиль;

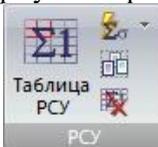


Рис. 51. Панель **РСЗ**

- **Дод. розрахунки** (рис. 52) – задання вихідних даних для обчислення переміщень у вузлах і зусиль (напружень) в елементах від стандартних і довільних лінійних комбінацій завантаження, для розрахунку навантажень на фрагмент, для обчислення головних і еквівалентних напружень у скінченних елементах, для розрахунку на стійкість;

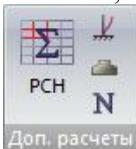


Рис. 52. Панель **Дод. розрахунки**

• **Нелінійність** (рис. 53) – задання параметрів, що визначають специфіку та організацію крокового процесу для вирішення нелінійних завдань;

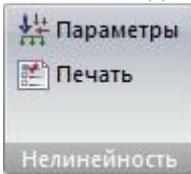


Рис. 53. Панель **Нелінійність**

• **Монтаж** (рис. 54) – задання інформації для комп'ютерного моделювання процесу зведення споруд, що передбачає монтаж і демонтаж елементів, зміну умов закріплення конструкцій або сполучення елементів між собою.

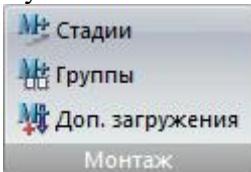


Рис. 54. Панель **Монтаж**

Панель **Розрахунок** (див. рис. 49) містить такі команди:

• **Виконати розрахунок** (рис. 55) – список, що розкривається, який містить операції зі зміни параметрів розрахунку для поточного завдання, що пропонуються за замовчуванням, завантаження даних щодо поточного завдання у розрахунковий процесор і безпосередньо самого виконання розрахунку;

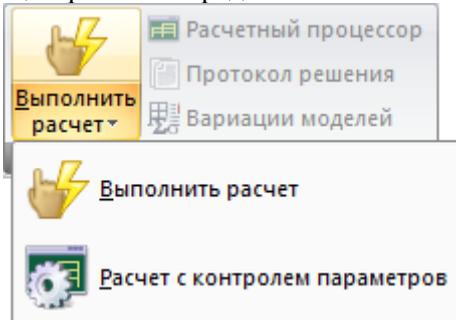


Рис. 55. Список, що розкривається, **Виконати розрахунок**

• Розрахунковий процесор – виклик діалогового вікна **Параметри розрахункового процесора**, що містить закладки

Розрахунок, Етапи та параметри для управління параметрами розрахунку, якими можна керувати;

- **Протокол розв'язку** – вибір і перегляд текстового файлу формату ім'я Задачі_01.шифрЗадачі, що містить протокол розв'язку задачі.

- **Варіації моделей** – процесор, який дає змогу виконувати об'єднання результатів, отриманих після розрахунку топологічно однакових розрахункових схем (однакова геометрія, однакова кількість та типи елементів), що відрізняються граничними умовами, жорсткісними характеристиками елементів, параметрами ґрунтової основи і т.п.

Панель **Динаміка** (рис. 50) містить такі команди:

- **Таблиця динамічних завантажень** – задання характеристик для розрахунку на динамічні впливи;

- **Гранична непружна деформація** (рис. 56) – список, що розкривається, який містить операції із задання вихідних даних для кожного елемента за табл. 2.11 КМК 2.01.03-96 для Узбекистану та графічного відображення величин коефіцієнтів непружної деформації для елементів розрахункової схеми;

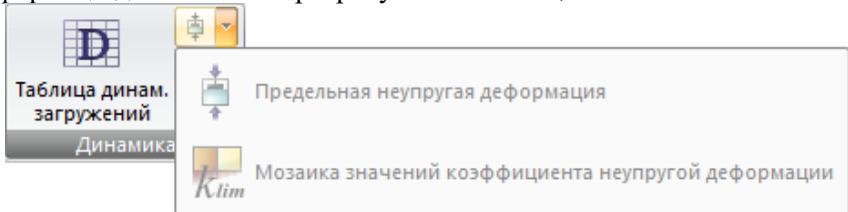


Рис. 56. Список, що розкривається, **Гранична непружна деформація**

- **Динаміка плюс** – список, що розкривається, який містить операції із задання інформації, необхідної для розрахунку динаміки в часі й перетворення вузлового статичного навантаження у вузлове динамічне навантаження для завантаження 3;

- **Врахування статичних завантажень** – задання інформації про масу для розрахунку на динамічні дії.

Панель **PC3** (див. рис. 51) містить такі команди:

- **Таблиця PC3** – формування або редагування раніше сформованої таблиці PC3;

- **Розрахунок РСЗ** (рис. 57) – список, що розкривається, який містить операції з розрахунку РСЗ та уніфікацій РСЗ, якщо корективи були внесені тільки в документ РСЗ, а інші дані не змінилися;

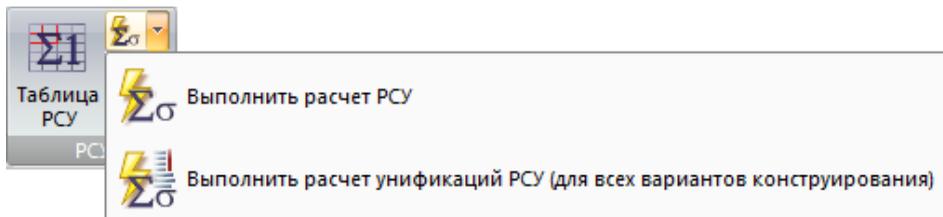


Рис. 57. Список, що розкривається, **Виконати розрахунок РСЗ**

- **Формування груп РСЗ** – об'єднання відмічених на розрахунковій схемі елементів у групи, коли для різних елементів вимагається застосувати різні коефіцієнти РСЗ в одному і тому ж завантаженні;

- **Видалення таблиці РСЗ** – видалення раніше сформованої таблиці РСЗ.

Панель **Дод. розрахунки** (див. рис. 52) містить такі команди:

- **РСН** – виклик діалогового вікна для задання вихідних даних з метою обчислення переміщень у вузлах і зусиль (напружень) в елементах від стандартних (сполучення, встановлені нормативними документами) й довільних лінійних комбінацій завантажень;

- **Стійкість** – виклик діалогового вікна для задання вихідної інформації для розрахунку на стійкість;

- **Дані для розрахунку навантаження на фрагмент** виклик діалогового вікна для задання вихідних даних з метою визначення навантажень на виділені вузли розрахункової схеми від її частини, що залишилася;

- **ЛІТЕРА** – виклик діалогового вікна для задання вихідних даних з метою обчислення головних та еквівалентних напружень у скінченних елементах за зусиллями від окремих завантажень, а також за розрахунковими сполученнями РСН або РСЗ.

Панель **Нелінійність** (рис. 53) містить такі команди:

- **Параметри** – задання вихідних параметрів (номер завантаження, метод розрахунку, кількість кроків, мінімальна кількість ітерацій т.д.) для розрахунку нелінійних завдань;

- **Друк** – задання вихідних даних для формування таблиць результатів відповідно до заданого варіанта друку.

Панель **Монтаж** (рис. 54) містить такі команди:

- **Стадії** – формування стадій для комп’ютерного моделювання процесу зведення, внесення монттованих або таких, що демонтуються, елементів;
- **Групи** – задання інформації про групи елементів, що монтуються, на поточній стадії зведення;
- **Додаткові завантаження** – задання інформації про завантаження, які можуть бути прикладені як під час, так і після зведення споруди.

Вкладка «Аналіз»

Найчастіше використовувані функції аналізу результатів: виведення на екран чисельної і графічної інформації про переміщення будь-якого вузла, зусиль і напружень, що виникають, у будь-якому елементі.



Рис. 58. Вкладка **Аналіз**

Вкладка **Аналіз** (рис. 58) містить такі панелі:

- **Деформації** (рис. 59) – операції, які дають змогу відобразити деформації конструкції;

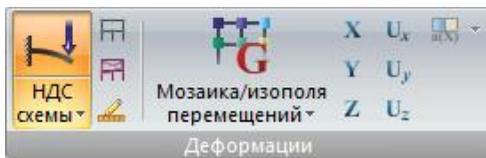


Рис. 59. Панель **Деформації**



Рис. 60. Панель **Зусилля у стрижнях**

- **Зусилля у стрижнях** (див. рис. 60) – операції з відображення епюрі і мозаїк зусиль у стрижнях;

- **Напруження у пластинах та об’ємних ЕЕ** (рис. 61) – фарбування пластин і поверхонь об’ємних елементів відповідно до значень напружень у них;



Рис. 61. Панель **Напряжения** у пластинах та об'ємних КЕ



Рис. 62. Панель **Зусилля** у спец. елементах

- **Зусилля у спец. елементах** (рис. 62) – відображення на екрані мозаїк зусиль у спеціальних елементах;
- **Зусилля в одновузлових СЕ** (рис. 63) – відображення зусиль в одновузлових елементах розрахункової схеми;

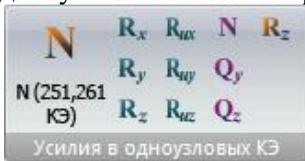


Рис. 63. Панель **Зусилля** в одновузлових КЕ

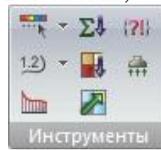


Рис. 64. Панель **Інструменти**

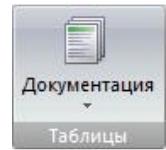


Рис. 65. Панель **Таблиці**

- **Інструменти** (рис. 64) – основні інструменти для налаштування режиму графічного відображення схеми, а також функції подання результатів;
- **Таблиці** (рис. 65) – виведення на екран чисельного подання результатів, а також запуск режимів для формування звіту й пояснювальної записки.

Панель **Деформації** (див. рис. 59) містить такі команди:

- **НДС схеми** (рис. 66) – список, що розкривається із заміною, який містить операції, котрі дають змогу вибирати вид відображення схеми з урахуванням результатів розрахунку: зусилля, переміщення, напруження; форми коливаний; форми втрати стійкості;

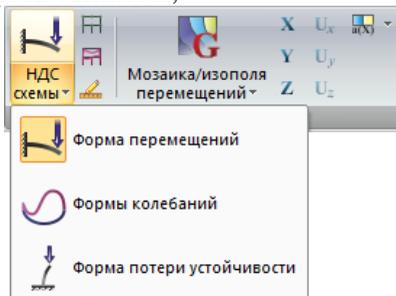


Рис. 66. Список, що розкривається, **НДС схеми**

- **Вихідна схема** – розрахункова схема відображається без урахування переміщень вузлів;
- **Вихідна + деформована** – накладання на екрані розрахункової та деформованої схем;
- **Масштаб переміщень** – виклик діалогового вікна для зміни масштабу виведення на екран переміщень деформованої схеми;
- **Мозаїка/ізополя переміщень** (рис. 67) – список, що розкривається із заміною, який містить команди для графічного відображення результатів з переміщень у вигляді мозаїки або ізополів у глобальній чи локальній системі координат;

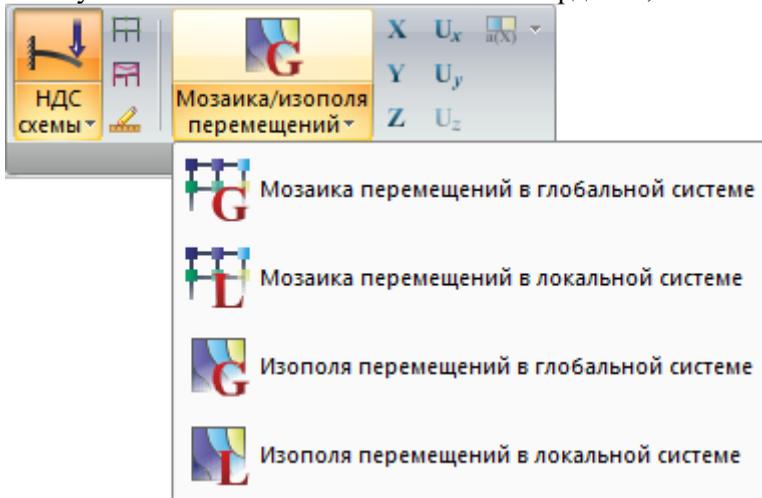


Рис. 67. Список, що розкривається, **Мозаїка/ізополя переміщень**

- **X** – мозаїка/ізополя переміщень по X ;
- **Y** – мозаїка/ізополя переміщень по Y ;
- **Z** – мозаїка/ізополя переміщень по Z ;
- **U_x** – мозаїка/ізополя переміщень по U_x ;
- **U_y** – мозаїка/ізополя переміщень по U_y ;
- **U_z** – мозаїка/ізополя переміщень по U_z ;
- **Мозаїка прискорень** (рис. 68) – список, що розкривається, який містить операції з відображення прискорень у вузлах $a(X)$, $a(Y)$, $a(Z)$ відносно осей X , Y , Z загальної системи координат, а

також середньоквадратичного прискорення a під час розрахунку на пульсацію вітру.

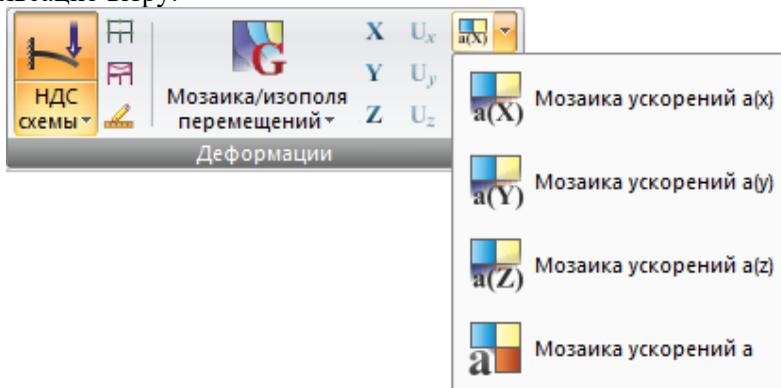


Рис. 68. Список, що розкривається, **Мозаїка прискорень**

Панель **Зусилля у стрижнях** (рис. 60) містить такі команди:

• **Епюри/мозаїка зусиль** (рис. 69) – список, що розкривається із заміною, який містить операції з відображення епюр і мозаїк зусиль у стрижнях;

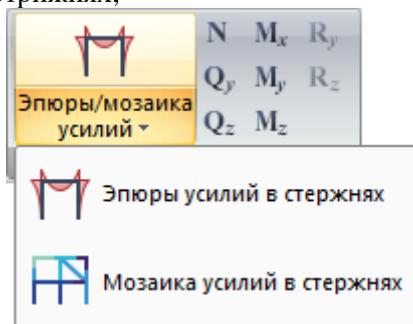


Рис. 69. Список, що розкривається, **Епюри/мозаїка зусиль у стрижнях**

- N – епюри подовжніх сил (N);
- Q_y – епюри поперечних сил (Q_y);
- Q_z – епюри поперечних сил (Q_z);
- M_x – епюри крутних моментів (M_k);
- M_y – епюри згинальних моментів (M_y);
- M_z – епюри згинальних моментів (M_z);
- R_y – епюра опору ґрунту (R_y);
- R_z – епюра опору ґрунту (R_z).

Панель **Напруження в пластинах та об'ємних СЕ** (рис. 61) містить такі команди:

- **Мозаїка/ізополя напружень** (рис. 70) – список, що розкривається, із заміною для вибору способу відображення фарбування пластин і поверхонь об'ємних елементів відповідно до значень напружень в елементах (у погодженій місцевій системі координат);

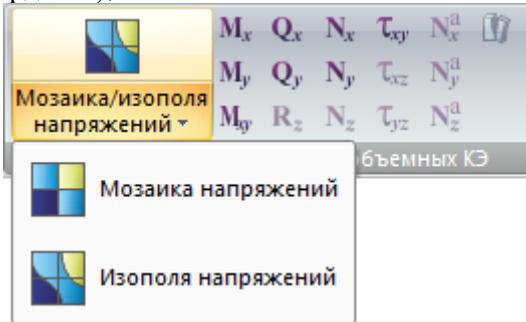


Рис. 70. Список, що розкривається, **Мозаїка/ізополя напружень**

- **M_x** – мозаїка/ізополя напружень M_x ;
- **M_y** – мозаїка/ізополя напружень M_y ;
- **M_{xy}** – мозаїка/ізополя напружень M_{xy} ;
- **Q_x** – мозаїка/ізополя напружень Q_x ;
- **Q_y** – мозаїка/ізополя напружень Q_y ;
- **R_z** – мозаїка/ізополя напружень R_z ;
- **N_x** – мозаїка/ізополя напружень N_x ;
- **N_y** – мозаїка/ізополя напружень N_y ;
- **N_z** – мозаїка/ізополя напружень N_z ;
- **T_{xy}** – мозаїка/ізополя напружень T_{xy} ;
- **T_{xz}** – мозаїка/ізополя напружень T_{xz} ;
- **T_{yz}** – мозаїка/ізополя напружень T_{yz} ;
- **N_{ax}** – напруження в арматурі по осі XI ;
- **N_{ay}** – напруження в арматурі по осі YI ;
- **N_{az}** – напруження в арматурі по осі ZI ;
- **Руйнування** – відображення напряму розвитку тріщин для кожного елемента у вибраному шарі на тлі ізополів або палітри напружень у результаті розрахунку фізичної нелінійності континуальних конструкцій.

Панель Зусилля у спец. елементах (рис. 62) містить такі команди:

- **N (252, 262 CE)** – відображення на екрані мозаїки зусилля N для 252 і 262 CE;
- **N_x (55, 255, 265 CE)** – відображення на екрані мозаїки зусилля N_x для 55, 255, 265 CE;
- **N_y (55, 255, 265 CE)** – відображення на екрані мозаїки зусилля N_y для 55, 255, 265 CE;
- **N_z (55, 255, 265 CE)** – відображення на екрані мозаїки зусилля N_z для 55, 255, 265 CE;
- **M_x (55, 255, 265 CE)** – відображення на екрані мозаїки зусилля M_x для 55, 255, 265 CE;
- **M_y (55, 255, 265 CE)** – відображення на екрані мозаїки зусилля M_y для 55, 255, 265 CE;
- **M_z (55, 255, 265 CE)** – відображення на екрані мозаїки зусилля M_z для 55, 255, 265 CE;
- **N (264 CE)** відображення на екрані мозаїки зусилля N для 264 CE;
- **Q_y (264 CE)** – відображення на екрані мозаїки зусилля Q_y для 264 CE;
- **Q_z (264 CE)** – відображення на екрані мозаїки зусилля Q_z для 264 CE;
- **R_z (53 CE)** – відображення на екрані мозаїки зусилля R_z для 53 CE.

Панель Зусилля в одновузлових CE (рис. 62) містить такі команди:

- **N (251, 261 CE)** – зусилля N у 251, 261 CE;
- **R_x (51, 56, 256, 266 CE)** – зусилля R_x у 51, 56, 256, 266 CE;
- **R_y (51, 56, 256, 266 CE)** – зусилля R_y у 51, 56, 256, 266 CE;
- **R_z (51, 56, 256, 266 CE)** – зусилля R_z у 51, 56, 256, 266 CE;
- **R_{ux} (51, 56, 256, 266 CE)** – зусилля R_{ux} у 51, 56, 256, 266 CE;
- **R_{uy} (51, 56, 256, 266 CE)** – зусилля R_{uy} у 51, 56, 256, 266 CE;
- **R_{uz} (51, 56, 256, 266 CE)** – зусилля R_{uz} у 51, 56, 256, 266 CE;
- **N (263 CE)** – зусилля N у 263 CE;
- **Q_y (263 CE)** – зусилля Q_y у 263 CE;
- **Q_z (263 CE)** – зусилля Q_z у 263 CE;
- **R_z (54 CE)** – відображення на екрані мозаїки зусилля R_z для 54 CE.

Панель **Інструменти** (див. рис. 64) містить такі команди:

Команди Шкала, Ізолінії та Епюра за перерізом пластин, описані у вкладці «Створення та редагування» (див. рис. 34, рис. 35).

- **Підсумувати навантаження** – підсумовування зовнішніх навантажень на зазначені вузли й елементи розрахункової схеми;
- **Мозаїка навантажень** – виклик діалогового вікна, призначеного для управління виведення мозаїки навантажень, прикладених до вузлів та елементів схеми;
- **Ізополе за перерізом об'ємних СЕ** – виклик діалогового вікна для задання інформації з метою створення ізополів у плоскому перерізі схеми, що складається з об'ємних СЕ;
- **Зв'язатися з результатами** – відновлення зв'язку графічного середовища з результатами розрахунку в разі збою у програмі або в комп'ютері під час роботи.

Панель **Таблиці** (див. рис. 65) містить такі команди:

- **Документація** (рис. 71) – список, що розкривається із заміною, який містить операції для формування документації щодо поточного завдання, таблиць за результатами статичного/динамічного розрахунку, створення і компоновання креслень з різними зафіксованими варіантами розрахункової схеми та результатів розрахунку, формування звіту або пояснювальної записки.

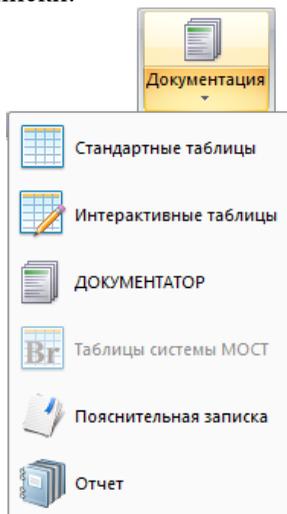


Рис. 71. Список, що розкривається, **Документація**

Вкладка «Розширений аналіз»

Рідше застосовувані функції аналізу результатів розрахунку: задання вихідних даних, розрахунок та отримання графічної інформації про результати розрахунку додаткових систем інерційних сил, що виникають, фарбування елементів відповідно до значень коефіцієнтів постелі.

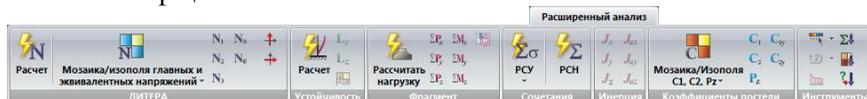


Рис. 72. Вкладка **Розширений аналіз**

Вкладка **Розширений аналіз** (рис. 72) містить такі панелі:

- **ЛІТЕРА** (рис. 73) – задання вихідних даних, розрахунок та аналіз результатів обчислення головних і еквівалентних напружень у скінченних елементах за зусиллями від окремих завантажень, а також за розрахунковими сполученням РСН або РСЗ;

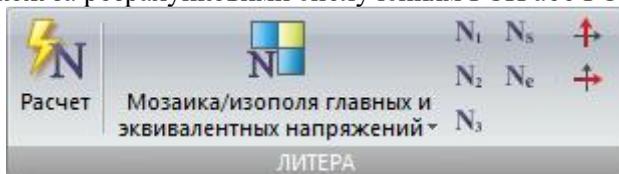


Рис. 73. Панель **ЛІТЕРА**

- **Стійкість** (рис. 74) – задання додаткових даних для розрахунку, розрахунок на стійкість, аналіз результатів розрахунку на стійкість;

- **Фрагмент** (рис. 75) – задання вихідних даних, визначення навантажень на виділені вузли розрахункової схеми від її частини, що залишилася, аналіз результатів розрахунку;

- **Сполучення** (рис. 76) – розрахунок стандартних і довільних лінійних комбінацій завантажень і розрахункових сполучень зусиль;

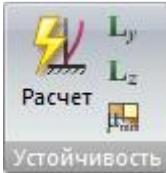


Рис. 74. Панель **Стойкість**

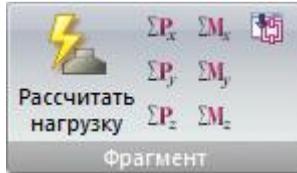


Рис. 75. Панель **Фрагмент**



Рис. 76. Панель **Сполучення**

• **Інерція** (рис. 77) – інерційні сили й моменти у вузлах, отримані в результаті розрахунку на динамічні дії за кожною формою коливань;

• **Коефіцієнти постелі** (рис. 78) – фарбування пластин згідно зі значеннями в них коефіцієнтів постелі C1z, C2z, C1y, C2y, а також заданого вертикального рівномірно розподіленого навантаження Pz;

• **Інструменти** (рис. 79) – основні інструменти для налаштування режиму графічного відображення схеми, а також функції з додаткового аналізу результатів.



Рис. 77. Панель **Інерція**

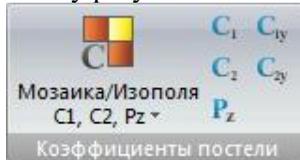


Рис. 78. Панель **Коефіцієнти постелі**

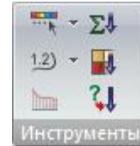


Рис. 79. Панель **Інструменти**

Панель **ЛІТЕРА** (див. рис. 73) містить такі команди:

• **Розрахунок** – виклик діалогового вікна розрахункового процесора ЛІТЕРА для вибору режиму обчислень, теорії міцності та сполучень, які треба використовувати для розрахунку головних і еквівалентних напружень у скінченних елементах;

• **Мозаїка/ізополя головних та еквівалентних напружень** (рис. 80) – список, що розкривається із заміною, який містить операції з відображення на екрані одного з фарбувань пластин і об'ємних SE відповідно до значень головних та еквівалентних напружень у скінченних елементах:

- мозаїка головних та еквівалентних напружень;
- ізополя головних та еквівалентних напружень;

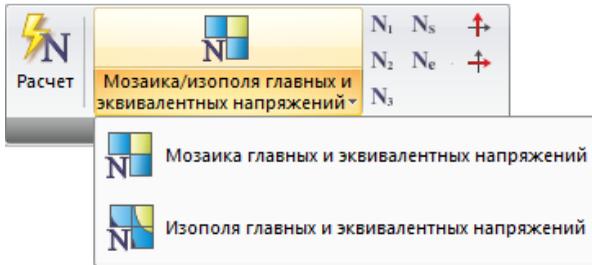


Рис. 80. Список, що розкривається, **Мозаїка/ізополя головних та еквівалентних напружень**

- **N1** – мозаїка/ізополя $N1$;
- **N2** – мозаїка/ізополя $N1$;
- **N3** – мозаїка/ізополя $N1$;
- **Ns** – мозаїка/ізополя Ns ;
- **Ne** – мозаїка/ізополя Ne ;

• **Показати напрямки головних осей N1** – висновок на екран напрямку головних осей $N1$ на пластинах та об'ємних елементах після розрахунку за системою ЛІТЕРА;

• **Показати напрямки головних осей N3** – висновок на екран напрямку головних осей $N3$ на пластинах та об'ємних елементах після розрахунку за системою ЛІТЕРА.

Панель **Стійкість** (рис. 74) містить такі команди:

• **Розрахунок** – виклик діалогового вікна для задання вихідних даних і розрахунку на стійкість;

• **Коефіцієнти за L_y** – коефіцієнти вільних довжин, які обчислюються системою **СТІЙКІСТЬ** для стрижньових елементів відповідно до коефіцієнта запасу загальної стійкості;

• **Коефіцієнти за L_z** – коефіцієнти вільних довжин, які обчислюються системою **СТІЙКІСТЬ** для стрижньових елементів відповідно до коефіцієнта запасу загальної стійкості;

• **Мозаїка параметрів чутливості** – графічне відображення ступеня відповідальності (чутливості) елементів схеми за загальну несучу здатність конструкції.

Панель **Фрагмент** (рис. 75) містить такі команди:

• **Розрахувати навантаження** – виклик діалогового вікна **Розрахунок навантажень на фрагмент**, призначеного для задання номерів вузлів, у яких має бути обчислене навантаження, номерів

елементів, що передають навантаження на ці вузли, кутів повороту вузлів навколо осі Z глобальної системи координат.

- **Сила уздовж X** ;
- **Сила уздовж Y** ;
- **Сила уздовж Z** ;
- **Момент навколо X** ;
- **Момент навколо Y** ;
- **Момент навколо Z** ;
- **Експорт даних у ФОК-ПК** – створення файла навантажень, що експортуються для подальшої роботи в середовищі програмного комплексу ФОК-ПК для розрахунку стовпчастих фундаментів.

Панель **Сполучення** (див. рис. 76) містить такі команди:

- **РСЗ** (рис. 81) – список, що розкривається, який містить команди для розрахунку сполучень зусиль та їх уніфікації;

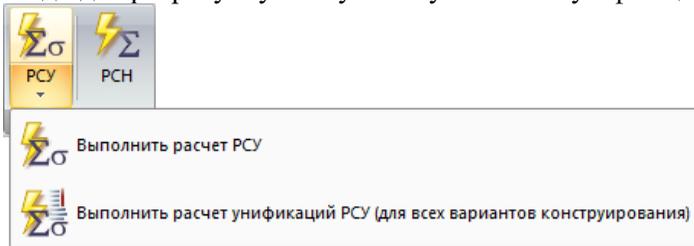


Рис. 81. Список, що розкривається, **РСЗ**

- **РСН** – виклик діалогового вікна, задання вихідних даних і запуск процесора, який обчислює переміщення у вузлах і зусилля (напруження) в елементах від стандартних (встановлених нормативними документами) та довільних лінійних комбінацій завантажень.

Панель **Інерція** (рис. 77) містить такі команди:

- **J_x** – інерційна сила вздовж осі X ;
- **J_y** – інерційна сила вздовж осі Y ;
- **J_z** – інерційна сила вздовж осі Z ;
- **J_{ux}** – інерційний момент навколо осі X ;
- **J_{uy}** – інерційний момент навколо осі Y ;
- **J_{uz}** – інерційний момент навколо осі Z .

Панель **Коефіцієнти постелі** (рис. 78) містить такі команди:

• **Мозайка/ізополя C1, C2, Pz** (рис. 82) – список, що розкривається із заміною, для вибору способу графічного відображення пластин згідно зі значенням у них коефіцієнтів постелі й вертикального рівномірно-розподіленого навантаження;

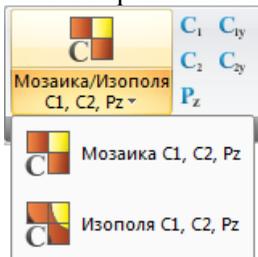


Рис. 82. Список, що розкривається, **Мозайка/ізополя C1, C2, Pz**

- **C1** – фарбування пластин відповідно до значень коефіцієнта C1;
- **C2** – фарбування пластин відповідно до значень коефіцієнта C2;
- **C1y** – фарбування пластин відповідно до значень коефіцієнта C1y;
- **C2y** – фарбування пластин відповідно до значень коефіцієнта C2y;

Pz – фарбування пластин відповідно до значень коефіцієнта Pz.

Панель **Інструменти** (рис. 79) містить такі команди:

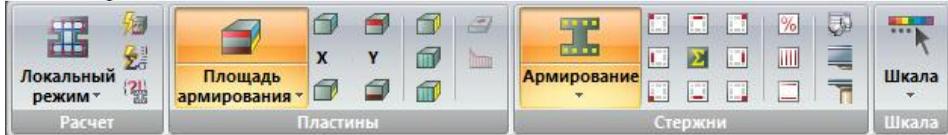
- **Шкала;**
- **Ізолінії;**
- **Епюра за перерізом пластин;**
- **Підсумувати навантаження;**
- **Мозайка навантажень.**

Команди Шкала, Ізолінії та Епюра за перерізом пластин описані у вкладці «Створення та редагування» (див. рис. 34, рис. 35), а команди Підсумувати навантаження та Мозайка навантажень – у вкладці «Аналіз».

Перетворити результати у навантаження – виклик діалогового вікна для задання інформації про результати розрахунку, які потрібно перетворити в навантаження.

Вкладка «Конструювання»

Операції із задання вихідних даних для конструювання, розрахунок армування, перевірка та підбір сталевих перерізів, виведення на екран числової та графічної інформації про результати розрахунку конструювальних систем, а також запуск локальних режимів.



а



б

Рис. 83. Вкладка **Конструювання**: а – залізобетонні конструкції; б – сталеві конструкції.

Вкладка **Конструювання** (рис. 83, а, б) містить такі панелі:

- **Розрахунок** (рис. 84) – операції, пов'язані з розрахунком арматури;
- **Пластини** (рис. 85) – відображення результатів армування у пластинчастих елементах одним із обраних способів;
- **Стрижні** (рис. 86) – відображення результатів армування у стрижньових елементах одним із обраних способів, а також конструювання балок і колон;

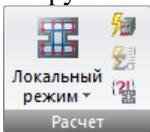


Рис. 84.

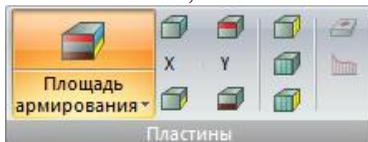


Рис. 85.

Панель

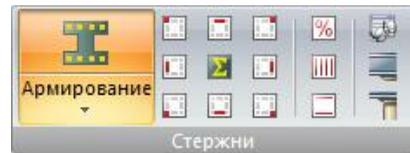


Рис. 86. Панель **Стрижні**

Панель

Розрахунок

Пластини

- **Шкала** (рис. 87) – операції з управління градуюванням і колірним налаштуванням ізополів і мозаїк вихідних даних розрахункової схеми ($C1$, $C2$, Pz), результатів статичного / динамічного розрахунку, результатів перевірки та підбору сталевих перерізів, результатів визначення підбору площ арматури, а також

операції з налаштування поновлення шкали й колірного відображення вузлів та елементів схеми на екрані;

• **Конструювання** (рис. 88) – операції зі зміни жорсткостей і задання вихідних даних для конструювання;



Рис. 87.

Панель

Шкала

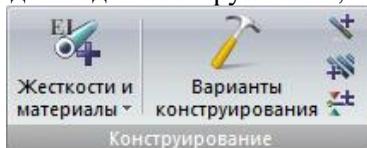


Рис. 88.

Панель

Конструювання

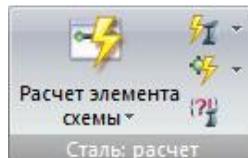


Рис. 89.

Панель

Сталь: розрахунок

• **Сталь: розрахунок** (рис. 89) – операції пов'язані з розрахунком сталевих елементів;

• **Сталь: перевірка та підбір** (рис. 90) – графічне відображення результатів перевірки й підбору сталевих перерізів;

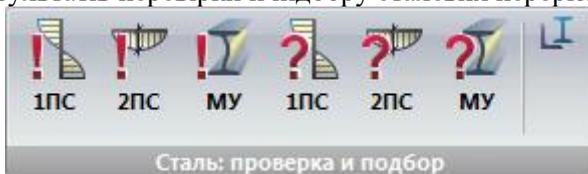


Рис. 90. Панель **Сталь: перевірка та підбір**

• **Таблиці** (рис. 91) – виведення на екран чисельного подання результатів, а також запуск режимів для формування звіту й пояснювальної записки.

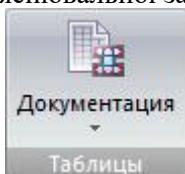


Рис. 91. Панель **Таблиці**

Панель **Розрахунок** (див. рис. 84) містить такі команди:

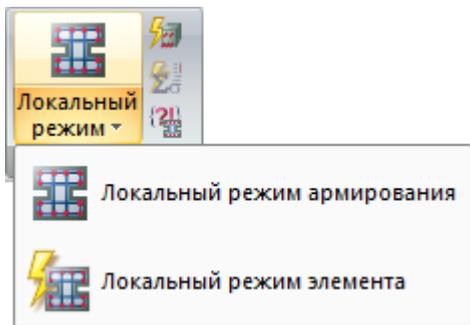


Рис. 92. Список, що розкривається, **Локальний режим**

• **Локальний режим** (рис. 92) – список, що розкривається, який містить команди виклику локальних режимів армування та елемента;

• **Розрахунок арматури** – виклик діалогового вікна для задання параметрів розрахунку армування;

• **Виконати розрахунок уніфікації РСЗ** – запуск розрахункового процесора, в результаті роботи якого формуються таблиці уніфікації для підбору арматури у залізобетонних елементах, а також підбору та перевірки сталевих перерізів, що входять до уніфікованих груп;

• **Зв'язатися з результатами з/б розрахунку** – відновлення зв'язку графічного середовища ВІЗОР-САПР із результатами з/б розрахунку в разі збою в програмі або у комп'ютері під час роботи.

Панель **Пластини** (див. рис. 85) містить такі команди:

• **Площа армування** (рис. 93) – список, що розкривається із заміною, який містить команди для вибору способу відображення площ поздовжньої арматури для пластинчастих елементів;

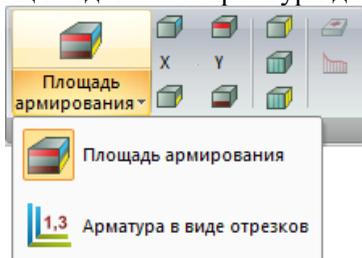


Рис. 93. Список, що розкривається, **Площа армування**

• **Верхня арматура у пластинах уздовж осі X** – відображення на розрахунковій схемі у вигляді відрізків або мозаїки площі поздовжнього армування біля верхньої грані пластини вздовж місцевої осі X1 (з урахуванням заданого кута узгодження осей);

• **Нижня арматура у пластинах уздовж осі X** – відображення на розрахунковій схемі у вигляді відрізків або мозаїки площі поздовжнього армування біля нижньої грані пластини вздовж місцевої осі X1 (з урахуванням заданого кута узгодження осей);

• **Верхня арматура у пластинах уздовж осі Y** – відображення на розрахунковій схемі у вигляді відрізків або мозаїки площі поздовжнього армування біля верхньої грані пластини вздовж місцевої осі Y1 (з урахуванням заданого кута узгодження осей);

• **Нижня арматура у пластинах уздовж осі Y** – відображення на розрахунковій схемі у вигляді відрізків або мозаїки площі поздовжнього армування біля нижньої грані пластини вздовж місцевої осі Y1 (з урахуванням заданого кута узгодження осей);

• **Поперечна арматура вздовж X1** – графічне відображення на розрахунковій схемі площі поперечної арматури із заданим кроком або інтенсивністю поперечної на ІПМ уздовж місцевої осі X1 (з урахуванням заданого кута узгодження осей);

• **Поперечна арматура вздовж Y1** – графічне відображення на розрахунковій схемі площі поперечної арматури із заданим кроком або інтенсивністю поперечної на ІПМ уздовж місцевої осі Y1 (з урахуванням заданого кута узгодження осей);

• **Поперечна арматура на 1m2** – підбір поперечної арматури у розрахунку на 1m² зі встановленим прапорцем **Підбирати поперечну арматуру на 1m2** у діалоговому вікні **Загальні характеристики** із задаванням параметрів для з/б конструкцій;

• **Мінімальна арматура у вигляді відрізків** – відображення на розрахунковій схемі у вигляді відрізків результатів мінімальної арматури у пластинчастих елементах – площі поздовжньої арматури біля нижньої або верхньої грані пластини вздовж місцевих осей X або Y, відповідні мінімальному відсотку армування;

• **Епюра за перерізом пластин** – виклик діалогового вікна для задання інформації для створення графіка ординат (епюра) на пластинах уздовж заданого відрізка.

Панель **Стрижні** (див. рис. 86) містить такі команди:

- **Армування** (рис. 94) – список, що розкривається із заміною, який містить операції з вибору графічного подання на розрахунковій схемі результатів підбору симетричного, несиметричного армування або армування кільцевого перерізу (відсотка армування) в перерізах стрижньових елементів;

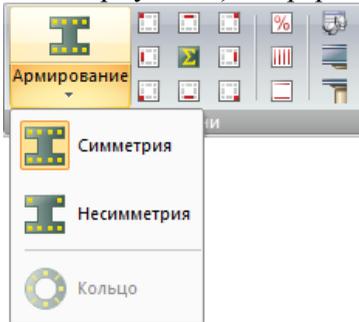


Рис. 94. Список, що розкривається, **Армування**

- **Кутова арматура AU3** – графічне відображення площі поздовжньої арматури у верхньому лівому куті перерізу стрижня з урахуванням тріщиностійкості AU3;

- **Розподілена арматура AS3** – графічне відображення площі поздовжньої арматури біля лівої бічної грані перерізу з урахуванням тріщиностійкості AS3;

- **Кутова арматура AU1** – графічне відображення площі поздовжньої арматури у нижньому лівому куті перерізу стрижня з урахуванням тріщиностійкості AU1;

- **Розподілена арматура AS2** – графічне відображення площі поздовжньої арматури біля верхньої грані перерізу з урахуванням тріщиностійкості AS2;

- **Сумарна арматура** – відображення у графічному вигляді сумарної площі арматури (поздовжньої або поперечної) обраного розміщення. Наприклад: AU1 + AU2 + AS1; AU1 + AU2 + AU3 + AU4 і т.п.;

- **Розподілена арматура AS1** – графічне відображення площі поздовжньої арматури біля нижньої грані перерізу з урахуванням тріщиностійкості AS1;

- **Кутова арматура AU4** – графічне відображення площі поздовжньої арматури у верхньому правому куті перетину стрижня з урахуванням тріщиностійкості AU4;

- **Розподілена арматура AS4** – графічне відображення площі поздовжньої арматури біля правої бічної грані перерізу з урахуванням тріщиностійкості AS4;

- **Кутова арматура AU2** – графічне відображення площі поздовжньої арматури у нижньому правому куті перерізу стрижня з урахуванням тріщиностійкості AU2;

- **Відсоток армування** – графічне відображення відсоткового відношення площі підбраної арматури до площі перерізу стрижня;

- **Поперечна арматура ASW1** – графічне відображення площі вертикальної ASW1 поперечної арматури з кроком 100 см;

- **Поперечна арматура ASW2** – графічне відображення площі вертикальної ASW2 поперечної арматури з кроком 100 см;

- **Розгорнуті вихідні дані** – вихідні дані для підбору арматури: інформація про норми проектування, уніфікованих груп, конструктивних елементів та уніфікованих груп СЕ, а також про призначені матеріали, характеристики бетону й арматури;

- **Конструювання балки** – автоматизоване конструювання елементів розрахункової схеми. Елементи мають входити в конструктивний елемент «балка» або їм має бути призначений вид «балка»;

- **Конструювання колони** – автоматизоване конструювання елементів розрахункової схеми. Елементи повинні входити в конструктивний елемент «колона» або їм має бути призначений вид «колона».

Панель **Шкала** (рис. 87) містить такі команди:

- **Шкала** (рис. 95) – список, що розкривається, який містить операції з управління градуванням та колірним налаштуванням ізополів та мозаїк вихідних даних розрахункової схеми (C1, C2, Pz), результатів статичного/динамічного розрахунку, результатів перевірки та підбору сталевих перерізів, результатів визначення підбору площ арматури, а також операції з налаштування поновлення шкали й колірного відображення об'єктів схеми на екрані.

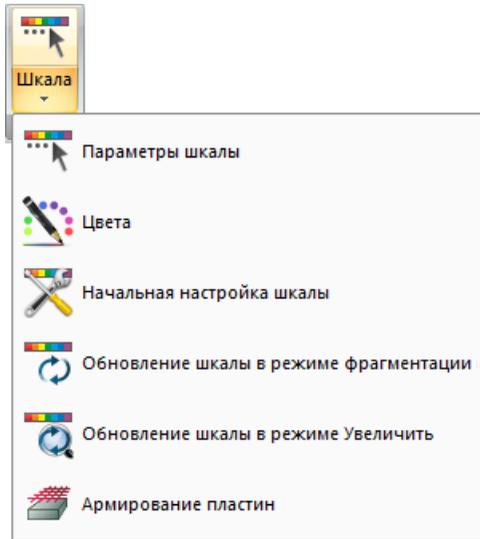


Рис. 95. Список, що розкривається, **Шкала**

Панель **Конструювання** (див. рис. 88) містить такі команди:

- **Жорсткості та матеріали** (рис. 96) – список, що розкривається, який містить операції з вибору необхідних типів (параметрів) жорсткості з бібліотеки характеристик жорсткості, призначення розрахункових і нормативних характеристик для матеріалів і присвоєння їх скінченним елементам схеми;

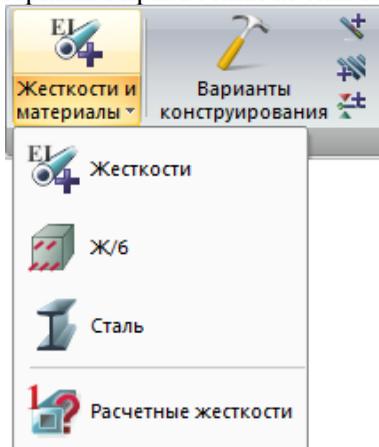


Рис. 96. Список, що розкривається, **Жорсткості та матеріали**

- **Варіанти конструювання** – виклик діалогового вікна для створення варіанта конструювання основної схеми, вибору варіанта розрахунку перерізів та норм для залізобетонних і сталевих конструкцій;

- **Конструктивні елементи** – виклик діалогового вікна для об'єднання виділених стрижньових елементів у конструктивний елемент;

- **Уніфікація елементів** – виклик діалогового вікна для об'єднання виділених стрижньових елементів в уніфіковані групи;

- **Розкріплення для прогинів** – виклик діалогового вікна для створення або видалення розкріплень для прогинів у довільних вузлах виділених елементів.

Панель **Сталь: розрахунок** (рис. 89) містить такі команди:

- **Розрахунок елемента схеми** (рис. 97) – список, що розкривається із заміною, який містить операції з розрахунку окремих нових елементів або елементів схеми, тобто фактично створення окремого локального завдання;

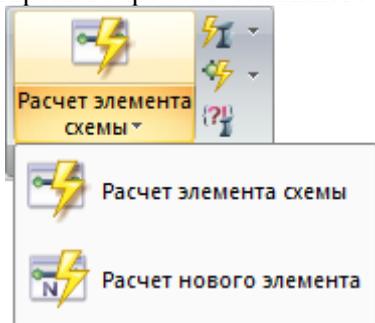


Рис. 97. Список, що розкривається, **Розрахунок елемента схеми**

- **Сталевий розрахунок** (рис. 98) – список, що розкривається, який містить операції з уніфікації РСЗ і сталевому розрахунку схеми (перевірка та підбір елементів) за розрахунковим сполученням зусиль (РСЗ), розрахунковим сполученням навантажень (РСН) або зусиллям від навантажень;

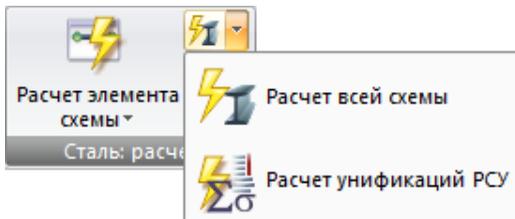


Рис. 98. Список, що розкривається, **Сталевий розрахунок**

• **Розрахунок вузлів** (рис. 99) – список, що розкривається із заміною, який містить операції з розрахунку вузлів схеми, нових і складених вузлів;

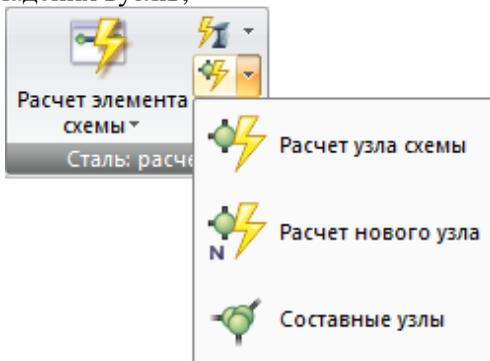


Рис. 99. Список, що розкривається, **Розрахунок вузлів**

• **Зв'язатися з результатами сталевих розрахунків** – відновлення зв'язку графічного середовища ВІЗОР-САПР з результатами сталевих розрахунків в разі збою у програмі або в комп'ютері під час роботи.

Панель **Сталь: перевірка та підбір** (рис. 90) містить такі команди:

• **Перевірка, 1ПС** – фарбування стрижнів схеми кольорами згідно з відсотком використання призначених перерізів за міцністю та загальною стійкістю;

• **Перевірка, 2ПС** – фарбування стрижнів схеми кольорами згідно з відсотком використання призначених перерізів за прогином і граничною гнучкістю;

• **Перевірка, МУ** – фарбування стрижнів схеми кольорами згідно з відсотком використання призначених перерізів за місцевою стійкістю їх полиці та стінки;

- **Підбір, 1ПС** – фарбування стрижнів схеми кольорами згідно з відсотком використання підібраних перерізів за міцністю й загальною стійкістю;

- **Підбір, 2ПС** – фарбування стрижнів схеми кольорами згідно з відсотком використання підібраних перерізів за прогином і граничною гнучкістю;

- **Підбір, МУ** – фарбування стрижнів схеми кольорами згідно з відсотком використання призначених перерізів за місцевою стійкістю їх полиці та стінки;

- **Підібрані перерізи** – виклик діалогового вікна для аналізу підібраних перерізів сталевих конструкції, що входять в основну схему або до складу суперелементів.

Панель **Таблиці** (рис. 91) містить такі команди:

- **Документація** (рис. 100) – список, що розкривається із заміною, який містить операції для формування документації з поточного завдання, таблиць за результатами статичного / динамічного розрахунку й розрахунку конструювання, створення і компонування креслень з різними зафіксованими варіантами розрахункової схеми та результатів розрахунку, формування звіту або пояснювальної записки.

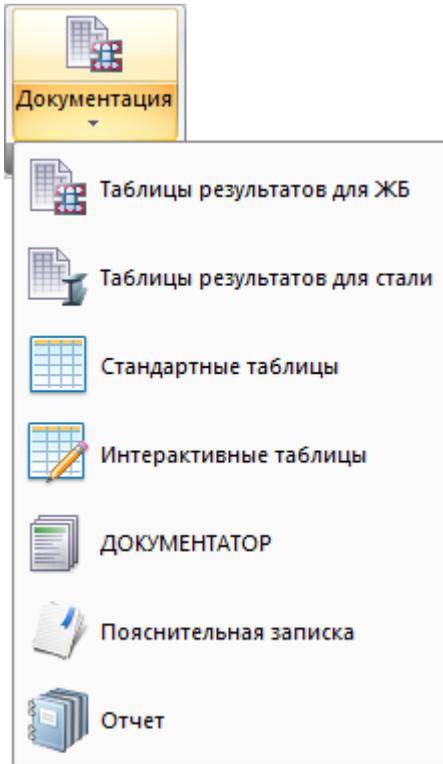


Рис. 100. Список, що розкривається, **Документация**

Контекстна вкладка «**Работа с узлами**»

Операції, що застосовуються до вузлів схеми, активуються з відміткою вузлів.

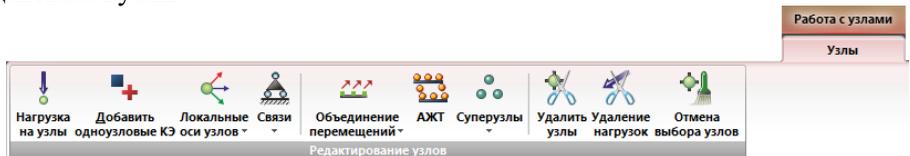


Рис. 101. Контекстна вкладка **Работа с узлами**

Контекстна вкладка **Работа с узлами** (рис. 101) містить панель **Редагування вузлів** (рис. 102) – операції з призначення й редагування властивостей вузлів схеми.



Рис. 102. Панель Редагування вузлів

Панель Редагування вузлів (рис. 102) містить такі команди:

- **Навантаження на вузли** – призначення навантаження на відмічені вузли схеми;
- **Додати одновузловий СЕ** – виклик діалогового вікна **Додати вузол** на закладці додавання одновузлових СЕ;
- **Локальні осі вузлів** (рис. 103) – список, що розкривається, який містить операції з формування локальної системи координат вузла;

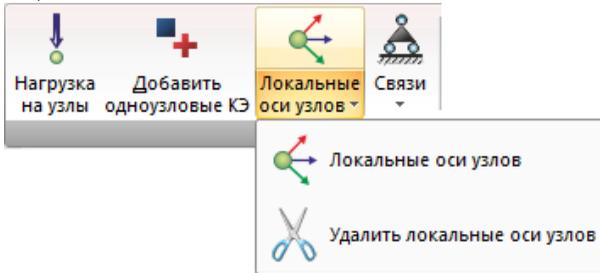


Рис. 103. Список, що розкривається, **Локальні осі вузлів**

- **В'язі** (рис. 104) – список, що розкривається, який містить команди з призначення або видалення напрямків, за якими потрібно заборонити переміщення вузлів, – X , Y , Z , UX , UY , UZ ;

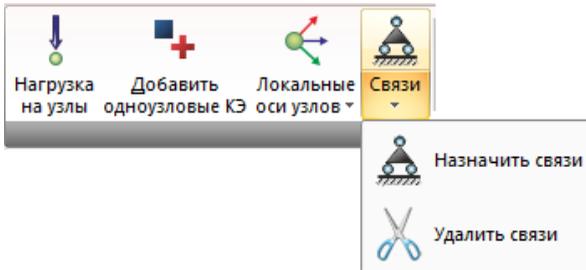


Рис. 104. Список, що розкривається, **В'язі**

- **Об'єднання переміщень** (рис. 105) – список, що розкривається, який містить команди для створення груп переміщень у вузлах і моделювання шарнірів у пластинах;

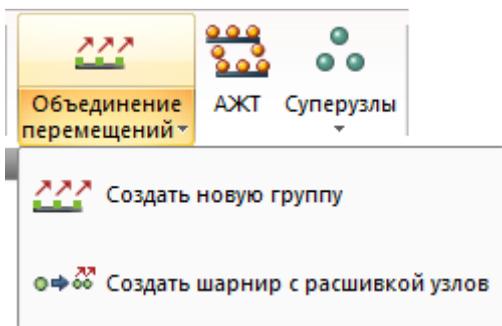


Рис. 105. Список, що розкривається, **Об'єднання переміщень**

- **АЖТ** – виклик діалогового вікна для моделювання роботи фрагментів розрахункової схеми як абсолютно жорстких тіл (АЖТ);
- **Супервузли** (рис. 106) – список, що розкривається, який містить команди за призначенням вузлів схеми або скасуванням статусу супервузлів;

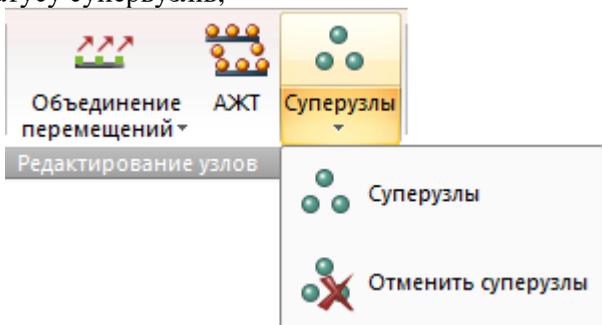


Рис. 106. Список, що розкривається, **Супервузли**

- **Видалити вузли** – видалення виділених вузлів із розрахункової схеми;
- **Видалення навантажень** – видалення навантажень тільки з вузлів схеми;
- **Скасування вибору вузлів** – скасування виділення вузлів і закриття контекстної вкладки **Робота з вузлами**.

Контекстна вкладка «Робота зі стрижнями»

Операції, що застосовуються тільки до стрижнів схеми, активуються з відміткою стрижнів.

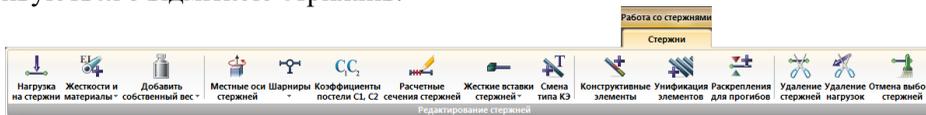


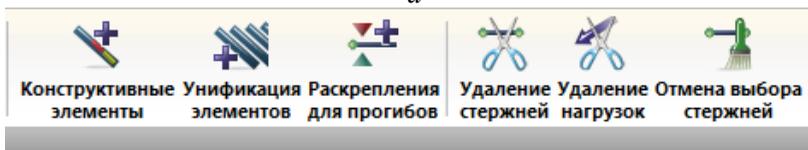
Рис. 107. Контекстна вкладка **Робота зі стрижнями**

Контекстна вкладка **Робота зі стрижнями** (рис. 107) містить такі панелі:

- **Редагування стрижнів** (рис. 108, а, б) – операції з призначення й редагування властивостей стрижньових елементів схеми.



a



б

Рис. 108. Панель **Редагування стрижнів**: *a* – при створенні розрахункової схеми; *б* – при конструюванні та видаленні стрижнів або навантажень.

Панель **Редагування стрижнів** (рис. 108, а, б) містить такі команди:

- **Навантаження на стрижні** – призначення навантаження на відмічені стрижньові елементи схеми;

- **Жорсткості та матеріали** (рис. 109) – список, що розкривається, **Жорсткості та матеріали**, що містить операції з вибору необхідних типів (параметрів) жорсткості з бібліотеки характеристик жорсткості, призначення розрахункових і нормативних характеристик для матеріалів і присвоєння їх скінченним елементам схеми;

- **Додати власну вагу** (рис. 110) – список, що розкривається, який містить операції із задання або видалення власної ваги з виділених чи всіх елементів схеми;

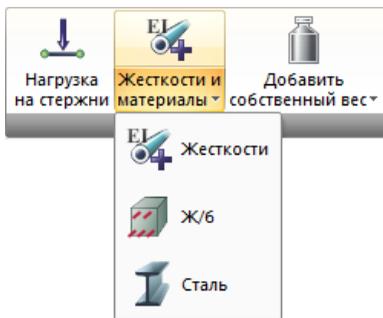


Рис. 109. Список, що розкривається, **Жорсткості та матеріали**

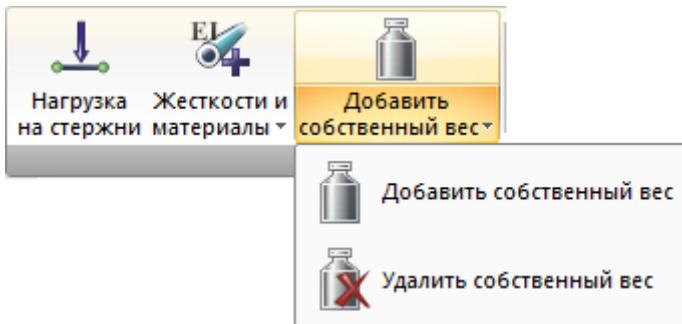


Рис. 110. Список, що розкривається, **Додати власну вагу**

- **Місцеві осі стрижнів** – виклик діалогового вікна для задання кута чистого обертання стрижнів;
- **Шарніри** (рис. 111) – список, що розкривається, який містить операції із задання або видалення шарнірів на початку чи в кінці стрижня;

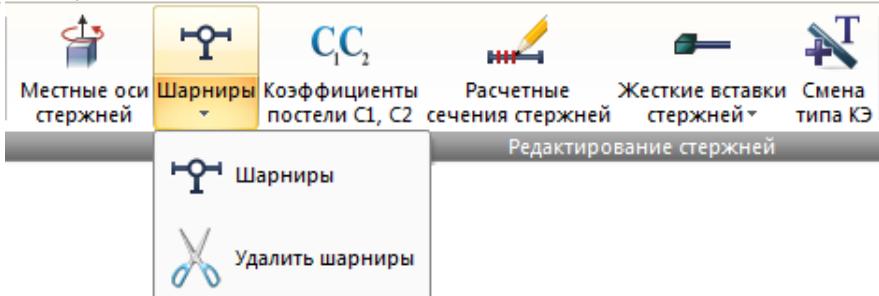


Рис. 111. Список, що розкривається, **Шарніри**

- **Коефіцієнти постелі C1, C2** – виклик діалогового вікна для задання коефіцієнтів постелі C1 і C2 на відмічений елемент або групу елементів;

- **Розрахункові перерізи стрижнів** – виклик діалогового вікна для зазначення кількості перерізів стрижньових елементів, у яких обчислюються зусилля і напруження (за замовчуванням воно дорівнює двом – на початку й у кінці стрижня);

- **Жорсткі вставки стрижнів** (рис. 112) – список, що розкривається, який містить операції із задання й видалення жорстких вставок на початку (1-й вузол) та/або в кінці (2-ий вузол) стрижня;

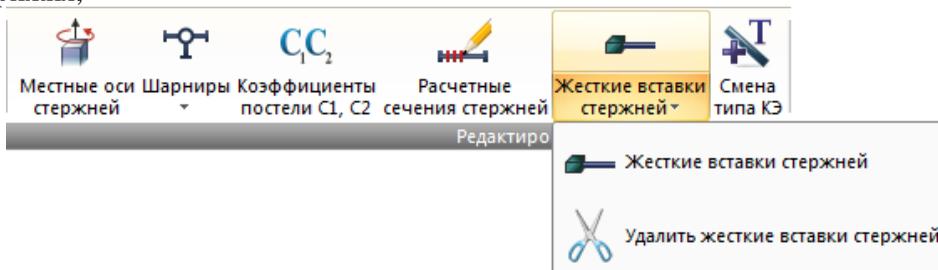


Рис. 112. Список, що розкривається, **Жорсткі вставки стрижнів**

- **Зміна типу SE** – виклик діалогового вікна для зміни типу вже заданих скінченних елементів згідно з нумерацією типів у бібліотеці скінченних елементів;

- **Конструктивні елементи** – виклик діалогового вікна для об'єднання виділених стрижньових елементів у конструктивний елемент;

- **Уніфікація елементів** – виклик діалогового вікна для об'єднання виділених стрижньових елементів в уніфіковані групи;

- **Розкріплення для прогинів** – виклик діалогового вікна для створення або видалення розкріплень для прогинів у довільних вузлах виділених елементів;

- **Видалення стрижнів** – видалення виділених стрижнів з розрахункової схеми;

- **Видалення навантажень** – видалення навантажень тільки зі стрижнів схеми;

- **Скасування вибору стрижнів** – скасування виділення стрижнів і закриття контекстної вкладки **Робота зі стрижнями**.

Контекстна вкладка «Робота з пластинами»

Операції, що застосовуються тільки до пластин схеми, активуються з відміткою пластин.

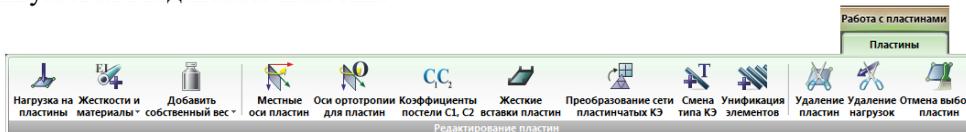
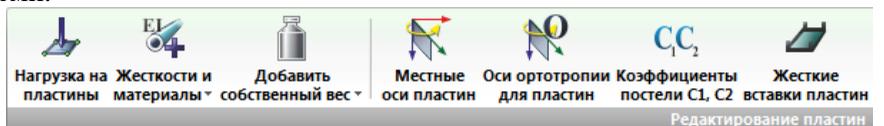
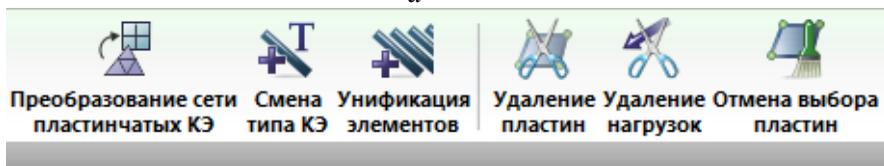


Рис. 113. Контекстна вкладка **Робота з пластинами**

Контекстна вкладка **Робота з пластинами** (рис. 113) містить панель **Редагування пластин** (рис. 114, *a, б*) – операції з призначення й редагування властивостей пластинчастих елементів схеми.



a



б

Рис. 114. Панель **Редагування пластин**: *a* – при редагуванні пластин; *б* – інші операції з пластинами

Панель **Редагування пластин** (рис. 114, *a, б*) містить такі команди:

- **Навантаження на пластины** – призначення навантаження на відмічені пластинчасті елементи схеми;
- **Жорсткості та матеріали** (рис. 115) – список, що розкривається, який містить операції з вибору необхідних типів (параметрів) жорсткості з бібліотеки характеристик жорсткості, призначення розрахункових і нормативних характеристик для матеріалів та присвоєння їх скінченим елементам схеми;

- **Додати власну вагу** (рис. 116) – список, що розкривається, який містить операції із задання або видалення власної ваги з виділених чи всіх елементів схеми;

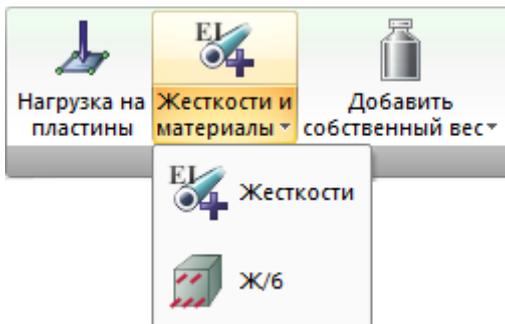


Рис. 115. Список, що розкривається, Жорсткості та матеріали

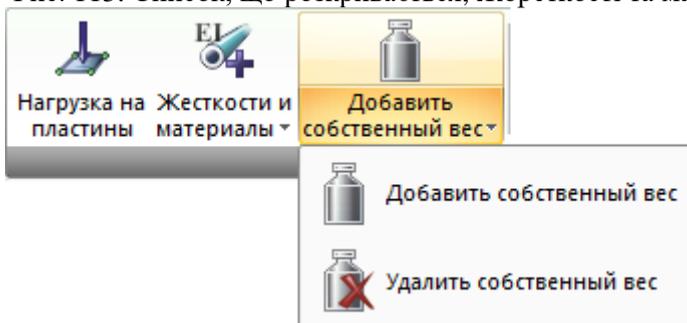


Рис. 116. Список, що розкривається, **Додати власну вагу**

- **Місцеві осі пластин** – застосування цієї команди приводить до однакової орієнтації місцевих осей у попередньо відмічених скінченних елементах пластин – балки-стілки, плити та оболонки;

- **Осі ортотропії для пластин** – виклик діалогового вікна для задання напрямку головних осей ортотропії в СЕ пластин щодо заданих місцевих осей СЕ;

- **Коефіцієнти постелі C1, C2** – виклик діалогового вікна для задання коефіцієнтів постелі C1 і C2 на відмічений елемент або групу елементів;

- **Жорсткі вставки пластин** – виклик діалогового вікна для задання розмірів жорстких вставок в СЕ пластин у напрямку місцевої осі Z1 скінченного елемента;



Рис. 118.
Відмітка
вузлів



Рис. 119.
Відмітка
елементів



Рис. 120.
Відмітка
блоку



Рис. 121. Відмітка
конструктивного
елемента

• **Відмітка елементів** (рис. 119) – список із заміною, що розкривається, який містить операції з відмітки елементів розрахункової схеми одним зі способів:

- відмітка елементів;
- відмітка вертикальних стрижнів;
- відмітка горизонтальних стрижнів;
- відмітити вузли, що збігаються;
- відмітити елементи, що примикають до відмічених вузлів;

• **Відмітка блока** (рис. 120) – список із заміною, що розкривається, який містить операції з відмітки блоків розрахункової схеми одним із способів:

- відмітка блока;
- відмітити блок №;

• **Відмітка конструктивного елемента** (рис. 121) – список із заміною, що розкривається, який містить операції з відмітки конструктивних та уніфікованих елементів розрахункової схеми:

- відмітка конструктивного елемента;
- відмітка уніфікованої групи елементів;
- відмітка уніфікованої групи конструктивних елементів;

• **ПоліФільтр** – виклик діалогового вікна, призначеного для управління відображенням розрахункової схеми з урахуванням властивостей складових її об'єктів. Це вікно містить усі функції вибору й відмітки однотипних об'єктів схеми, з якими планується проводити якісь операції;

• **Інверсія вибору** – відміна зробленої раніше відмітки вузлів та елементів, і навпаки, відмітка не відмічених раніше вузлів та елементів;

• **Відміна виділення або ізорежиму** – відміна зробленої раніше відмітки вузлів і елементів або, якщо жоден елемент не був відмічений, відміна ізорежиму;

• **Фрагментація** – відображення на екрані тільки заздалегідь відмічених вузлів і елементів схеми (за допомогою операцій, що містить меню ВИБІР);

- **Інверсна фрагментація** – відображення на екрані тільки невідмічених вузлів і елементів схеми;
- **Відновлення конструкції** – відновлення розрахункової схеми конструкції в первинному вигляді після операції;
- **Розміщення фрагмента** – виклик вікна (навігатора), в якому на повному зображенні схеми виділений даний фрагмент;
- **Збільшити** – детальніше зображення фрагмента розрахункової схеми;
- **Початковий розмір** – відновлення початкового розміру розрахункової схеми після виконання операції **Збільшити** і розміщення її з найбільш раціональним використанням площі робочого вікна;
- **Інформація про вузол або елемент** – виклик діалогового вікна з інформацією про вузли й елементи схеми та їх атрибути;
- **Інформація про розміри** (рис. 122) – список із заміною, що розкривається, який містить операції для обчислення геометричних параметрів схеми, – відстаней між двома вузлами, кутів, площ плоских фігур:
 - інформація про довжини – обчислення відстані між двома вузлами схеми;
 - інформація про кути – обчислення кута із зазначенням трьох вузлів схеми;
 - інформація про площі – обчислення площі фігури з послідовним зазначенням вузлів, які є її вершинами;



Рис. 122. Список, що розкривається **Інформація про розміри**

- **Перерисувати** – перерисовування схеми в разі необхідності;
- **Прапорці рисування** – встановлення прапорців **рисування**, тобто інформації, яка зображується безпосередньо на схемі, а також установки опцій відображення схеми.

Панель інструментів «Обертання»

Операції, що дають змогу виводити розрахункову схему на екран різними способами.

• **Поворот навколо осі Y** (рис. 128) – список із заміною, що розкривається, який містить команди для повороту розрахункової схеми навколо осі Y:

- додатний поворот навколо осі Y;
- від’ємний поворот навколо осі Y;

• **Поворот навколо осі Z** (рис. 129) – список із заміною, що розкривається, який містить команди для повороту розрахункової схеми навколо осі Z:

- додатний поворот навколо осі Z;
- від’ємний поворот навколо осі Z;

• **Початкове положення** (рис. 130) – список із заміною, що розкривається, який містить команди для управління опціями повороту:

- початкове положення;
- зміна кута повороту.

Навчальне видання

БАРАБАШ Марія Сергіївна
КОЗЛОВ Сергій Васильович
МЕДВЕДЕНКО Дмитро Вячеславович

**КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ
МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ**

Навчальний посібник

Редактор *Н.М. Угляренко*

Технічний редактор *А.І. Лаврінович*

Коректор *О.О. Лукашевич*

Підп. до друку 04.09.2012 р. Формат 60x84/16. Папір офс.

Офс. друк. Ум. друк. арк. 25. Обл. вид. арк. 25.

Тираж 500 пр. Замовлення № 152-1

Видавництво НАУ.

03058. Київ – 58, проспект Космонавта Комарова, 1.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК №977 від
05. 07. 2002