

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Одеська державна академія будівництва і архітектури
Інститут гідротехнічного будівництва та цивільної інженерії
Кафедра гідротехнічного будівництва

УДК 556.1

"ЗАТВЕРДЖЕНО "
Вченою Радою ІГБтаЦІ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсового проекту з освітньої компоненти
Інформаційні технології у гідротехнічному будівництві

для студентів другого (магістерського) рівня, спеціальності
194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології»
ОП «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології»

Укладачі:

Осадчий В.С., к.т.н., доц.
Дмитрієв С.В., к.т.н., доц.
Якушев Д.І., доц.
Бондаренко А.С., к.т.н., доц.

Рецензенти:

Директор ПП РЕТРОГРАД ПЛЮС

Опрятова І.І.

К.т.н., доц. кафедри автомобільних
доріг та аеродромів

Петричко С.М.

ОДЕСА – 2020

Відповідальний за випуск зав. кафедрою
Гідротехнічного будівництва
Осадчий В.С., к.т.н., доц.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. Склад і обсяги розділів курсового проектування.....	4
2. Створення розрахункової схеми.....	4
2.1 Загальна послідовність формування розрахункової схеми.....	5
2.2 Створення геометрії конструкції.....	5
2.3 Призначення характеристик жорсткості елементів.....	8
2.4 Призначення граничних умов (умов обпирання) конструкції.....	11
3. Опис основних конструктивних рішень.....	12
4. Призначення навантажень	12
4.1 Збір навантажень. Опис прийнятих схем завантажень.....	13
4.2 Формування груп навантажень (комбінацій).....	13
5. Опис комп'ютерної розрахункової схеми.....	14
6. Коротка характеристика методики розрахунку.....	14
7. Опис прийнятих для моделі кінцевих елементів.....	16
8. Вибіркові результати розрахунку (документування).....	19
9. Висновки та рекомендації.....	19
10. Приклад оформлення курсового проекту	20
ДОДАТКИ А. Вихідні дані.....	36
ДОДАТКИ Б. Довідкові дані.....	37
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	38

ВСТУП

Методичні вказівки складені для студентів другого (магістерського) рівня, спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» ОП «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» для виконання курсового проекту з освітньої компоненти «Інформаційні технології у гідротехнічному будівництві».

У методичних вказівках наведено вихідні дані для виконання курсового проекту, методика і обсяг виконуваних розрахунків. Довідкові дані, необхідні для виконання розрахунків наведені в нормативних документах і навчальних матеріалах, на які в тексті методичних вказівок є посилання.

У курсовому проекті передбачається розробка рішень з проектування будівельних конструкцій будівлі (споруди), відповідно до завдання на курсове проектування, із застосуванням інформаційних технологій проектування. Розрахунки виконуються із застосуванням програмного комплексу SCAD Office, або будь-якого програмного продукту, що реалізує метод кінцевих елементів в будівельних розрахунках. Графічна частина може бути виконана в системах автоматичного проектування.

1 Склад і обсяги розділів курсового проектування

В процесі роботи над курсовим проектом студент повинен виконати розрахунки споруди з прийнятими габаритними розмірами і попередньо призначеними перетинами елементів і будівельних матеріалів.

До складу проекту входять наступні розділи:

Вступ

1. Вихідні дані.
2. Опис основних конструктивних рішень.
3. Призначення навантажень.
4. Збір навантажень. Опис прийнятих схем завантажень.
5. Опис комп'ютерної розрахункової схеми.
6. Коротка характеристика методики розрахунку.
7. Характеристики використаних типів кінцевих елементів.
8. Вибіркові результати розрахунків.
9. Висновки і рекомендації.

Список використаної літератури

У курсовому проекті виконується креслення формату А1, де наводиться будівельна конструкція, яка розробляється, її розрахункова схема, види завантажень і епюри внутрішніх зусиль і деформацій.

2 Створення розрахункової схеми

Розрахункова схема являє собою ідеалізовану модель конструкції або споруди. При виборі розрахункової схеми слід виходити з можливих схем руйнувань та деформацій конструкцій споруди, підтверджених досвідом будівельної практики. В процесі роботи конструктор приймає схему, що відповідає вимогам розрахунку, на свій розсуд, і на ньому лежить відповідальність у виборі того, які умови важливі для проведеного розрахунку, а які можуть бути залишені без уваги. Деякі методи схематизації набули

широкого поширення і мають загальний характер (ідеалізація матеріалу у вигляді суцільного середовища; припущення про однорідність матеріалу; приведення геометричної форми тіла до таких стандартними схемами, як стрижні, пластини або оболонки; схематизація зовнішніх сил і ін.). Інші методи схематизації цілком конкретні і зв'язуються з кожної розглянутої завданням. Однак у всіх випадках вибір розрахункової схеми є найважливішим елементом аналізу

Попередньо розміри перетинів конструкцій призначаються на підставі досвіду раніше виконаних конструкцій.

2.1 Загальна послідовність формування розрахункової схеми

Загальна послідовність формування розрахункової схеми представляється в такий спосіб:

- Створення геометрії конструкції.
- Призначення жорсткісних характеристик елементів.
- Призначення граничних умов (умов обпирання) конструкції.
- Призначення навантажень.
- Формування груп навантажень (комбінацій).

2.2 Створення геометрії конструкції

Створення пластинчато-стрижневої моделі конструкції, запропонованої до виконання в цьому курсовому проекті, в програмному комплексі SCAD передбачається кількома способами. Студент самостійно приймає рішення про спосіб завдання геометрії моделі в залежності від її геометричних характеристик, характеристик передбачуваних до використання кінцевих елементів і власного досвіду роботи з програмним комплексом.

Перший варіант передбачає створення моделі споруди безпосередньо в препроцесорі програмного комплексу SCAD. Для цього при створенні нового

проекту повинен бути вибрати пункт «Стандарт» або «Форум» (Рис. 2.1). При завданні складних з точки зору геометрії моделей рекомендується використовувати системи автоматичного проектування типу AutoCad, BricsCad і ін. Або їх безкоштовні аналоги, що дозволяють зберігати креслення в форматах * .dwg, * .dxf, доступні згодом для імпорту в ПК SCAD. Імпорт геометрії конструкції доступний з меню «Файл» → пункт «Імпорт»

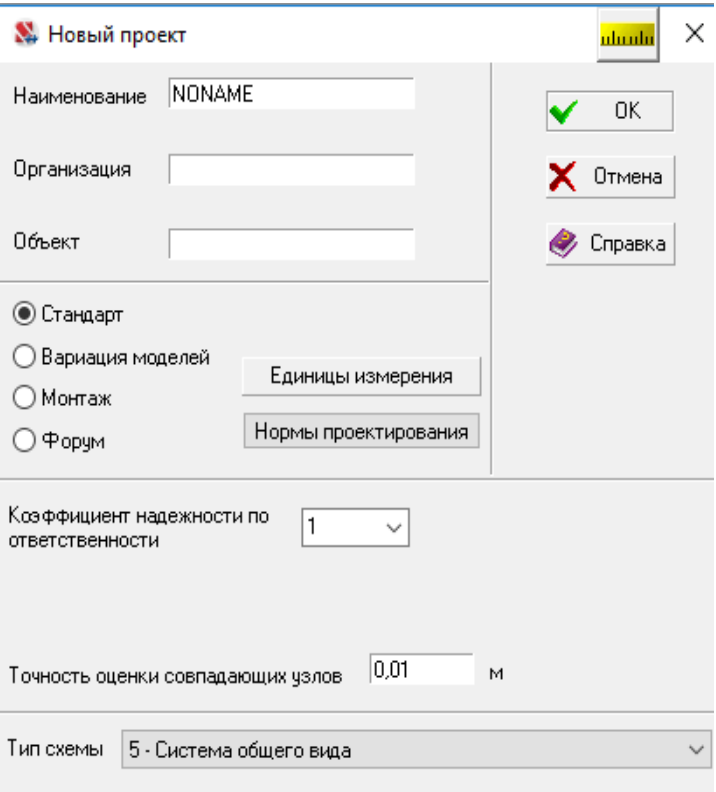


Рис. 2.1 Створення нового проекту в програмному комплексі SCAD

Також, у вікні створення проекту уточнюються прийняті в проєкті одиниці виміру і нормативні документи, на підставі яких будуть виконані розрахунки конструкції.

Створення геометрії моделі або її коригування і уточнення може бути виконано безпосередньо в програмному комплексі SCAD, після вибору пункту «Расчетная схема» в дереві проекту (Рис. 2.2).

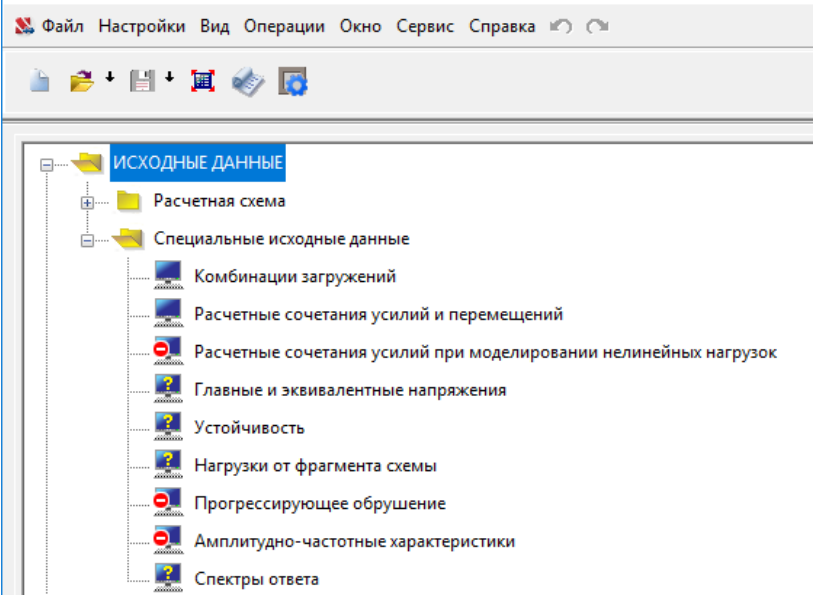


Рис. 2.2 Дерево проекту в програмному комплексі SCAD

Додавання вузлів і елементів, а також операції їх копіювання, перенесення, повороту, дроблення та ін. Виконуються з Закладок «Схема» і «Узлы и элементы» (Рис. 2.3).

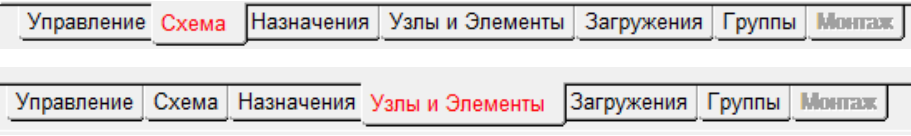


Рис. 2.3 Операції з вузлами і елементами

Закладка «Узлы и элементы» включає в себе дві панелі:

- Вузлы (Рис. 2.4);
- Элементы (Рис. 2.5).

Призначення кнопок на цих панелях є інтуїтивно зрозумілим завдяки спливаючих підказок до кожної кнопки.

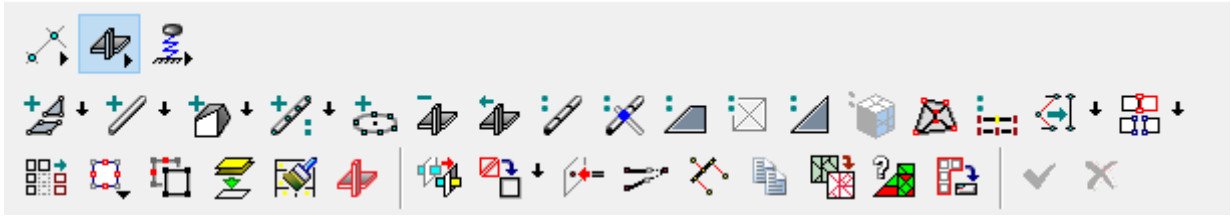


Рис. 2.4 Панель «Операции с элементами»



Рис. 2.5 Панель «Операции с узлами»

Третя панель закладки «Узлы и элементы» - «Специальные элементы» містить спеціальні елементи, до яких, наприклад, відносяться ванти, односторонні зв'язки, зв'язки кінцевої жорсткості та ін., Які в рамках цієї роботи не розглядаються.

2.3 Призначення характеристик жорсткості елементів

Набір параметрів, що описують жорсткісні характеристики елементів, залежить від виду елементів. У зв'язку з цим в програмі передбачені операції для призначення таких характеристик стрижневим, пластинчастим, об'ємним і іншим видам кінцевих елементів.

Призначення характеристик жорсткості елементів відбувається на панелі «Назначения» (Рис. 2.6).

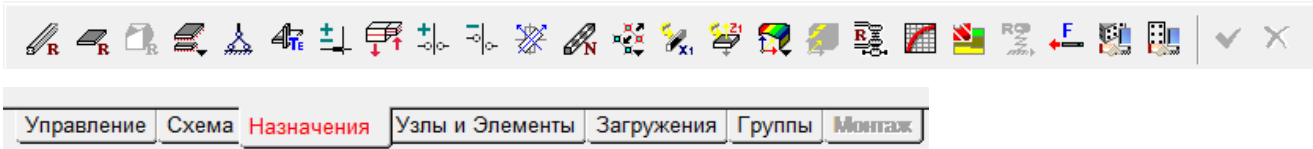


Рис. 2.6 Панель «Назначения»

Призначення характеристик жорсткості елементам

Фізико-механічні характеристики стрижневих елементів можуть бути задані у вигляді чисельного опису, а також обчислені програмно з урахуванням виду і розмірів типових параметричних перетинів або обраного, наприклад, профілю з сортаменту металопрокату. Дані вводяться в багатосторінковому діалоговому вікні «Жорсткості» стрижневих елементів. Набір сторінок цього вікна залежить від способу опису жорсткості. Перехід між сторінками виконується зазначенням на відповідну закладку. Спосіб завдання

характеристик жорсткості вибирається на сторінці «Загальні дані» шляхом активації відповідного маркера, після чого з'являються закладки сторінок, що відповідають обраному способу. Крім того, на першій сторінці знаходиться таблиця «Тип жорсткості», в якій для всіх раніше заданих перетинів наведені номер типу жорсткості, умовне зображення перетину, опис перетину (для всіх перетинів, крім чисельного опису - це габарити перетину), ім'я типу жорсткості (якщо воно було задано)

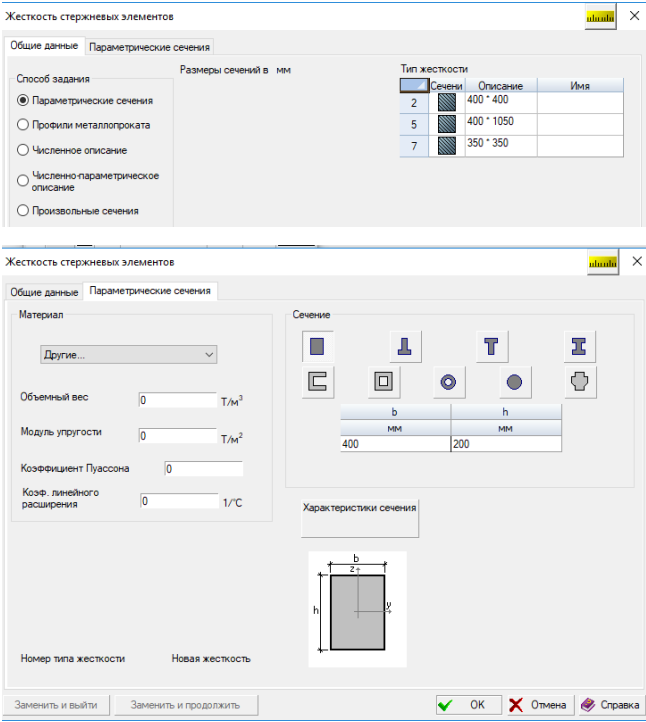


Рис. 2.7 Призначення жорсткості стрижневих елементів

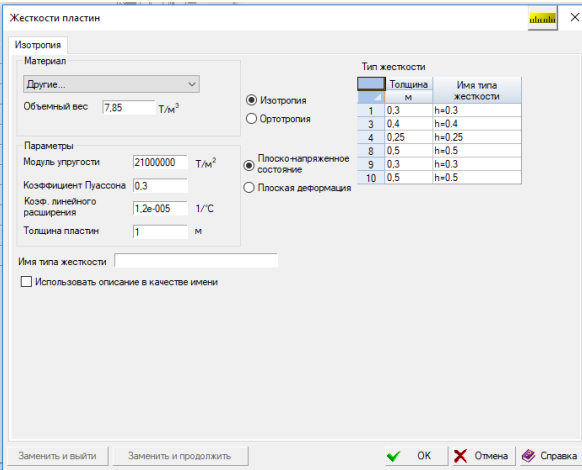


Рис. 2.8 Призначення жорсткості пластинчастих елементів

Введення нового типу жорсткості

При введенні нового типу жорсткості рекомендується дотримуватися такого порядку дій:

- на сторінці «Общие данные» вибрати спосіб завдання характеристик жорсткості і ввести ім'я типу жорсткості;
- зазначенням на закладку відкрити сторінку призначення характеристик жорсткості;
- ввести необхідні дані;

- натиснути кнопку ОК діалогового вікна, після чого буде призначений номер типу жорсткості і вікно закриється;
- вибрати на схемі елементи, яким призначається цей тип жорсткості;
- натиснути кнопку ОК у розділі Призначення або клавішу Enter на клавіатурі.

Параметричні перетини

Порядок введення даних не регламентований, однак, щоб уникнути помилок, краще виробити для себе певну послідовність дій, наприклад таку:

- активувати опцію «Параметрические сечения»;
- перейти на однойменну сторінку;
- обрати матеріал з однойменного списку або встановити в списку ознака «Другие» та ввести характеристики матеріалу (значення модуля пружності, коефіцієнта Пуассона і т. Д.);
- ввести розміри перетину і натиснути кнопку «Характеристики сечения», що дозволить у вікні «Свойства сечения» перевірити коректність введених даних;
- вийти з діалогового вікна, натиснувши кнопку ОК;
- перейти до призначення заданого типу жорсткості елементів схеми.

Чисельний опис

Ця сторінка містить максимально необхідний набір полів введення, що дозволяє задати жорсткісні характеристики будь-якого типу стрижня. У зв'язку з цим, перш ніж ввести значення характеристик, слід активувати маркер з найменуванням типу елементів, яким буде призначений цей тип жорсткості. Після чого відкритими для введення залишаються тільки ті поля, заповнення яких для зазначеного типу елементів є обов'язковим або допустимим.

При роботі з цією сторінкою зберігається описаний вище порядок завдання даних і призначення жорсткостей елементів схеми:

- активувати опцію «Численное описание»;

- перейти на однойменну сторінку; обрати матеріал з однойменного списку або встановити в списку ознака «Другие» та ввести характеристики матеріалу (значення модуля пружності, коефіцієнта Пуассона і т. Д.);
- активувати маркер з найменуванням типу кінцевих елементів, яким буде присвоєно цей тип жорсткості;
- заповнити даними відкриті для введення поля;
- вийти з діалогового вікна, натиснувши кнопку ОК;
- перейти до призначення заданого типу жорсткості елементів схеми.

Порядок дій при призначенні характеристик жорсткості стрижневим елементам, перетин яких береться, наприклад, з сортаменту металопрокату, наступний:

- активувати опцію «Профили металлопроката»;
- перейти на однойменну сторінку;
- обрати вид стали зі списку матеріалів або встановити в таблиці матеріалів ознака «Другие» і ввести значення питомої ваги стали, модуля пружності, коефіцієнта Пуассона і коефіцієнта лінійного розширення до відповідних рядків групи «Материал»;
- зі списку вибрати сортамент, вид і розмір профілю;
- вийти з діалогового вікна, натиснувши кнопку ОК;
- перейти до призначення заданого типу жорсткості елементів схеми.

Призначення характеристик жорсткості пластинчастим елементів виконується за аналогічною стрижневим елементам схемою.

2.4 Призначення граничних умов (умов обпирання) конструкції

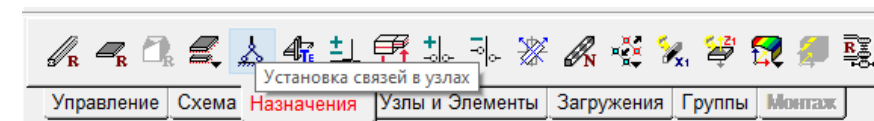


Рис. 2.9 Призначення граничних умов (установка зв'язків у вузлах)

Граничні умови призначаються з умов обпирання конструкції. Граничні умови (зв'язки) прикладаються до вузлів моделі конструкції і дозволяють моделювати шарнірне обпирання або жорстке закладення вузла, на які накладено зв'язки. (Рис. 2.9).

3 Опис об'ємно-планувальних і основних конструктивних рішень

У розділі «Опис об'ємно-планувальних і основних конструктивних рішень» наводиться розташування і призначення будівлі (споруди), опис основних геометричних розмірів конструкції, прийнятих перетинів елементів, положень температурно-осадових швів, конструкцій покриттів, що використовуються в елементах конструкції матеріалів, способів обпирання, кріплень і з'єднань елементів і ін. Можуть бути приведені плани і розрізи споруди.

4 Призначення навантажень

Під навантаженням розуміють якесь зовнішнє вплив на конструкцію (також ідеалізоване). У цьому курсовому проекті розглядаються силові типи навантажень.

Призначення навантажень регламентується в загальному випадку ДБН В.1.2-2: 2006 «Навантаження и впливи». В окремих випадках, залежно від типу конструкції, яка розглядається, додатково повинні враховуватися рекомендації по навантаженнях спеціалізованих ДБН, наприклад, ДБН В.1.2-15: 2009 «Мости і труби. Навантаження і впливи», ДБН В.2.2-24: 2009 «Проектування висотних житлових і громадських будинків» та ін.

4.1 Збір навантажень. Опис прийнятих схем завантажень

Програмний комплекс SCAD надає широкі можливості для завдання навантажень на будівлю конструкції (споруди). Завдання різних типів навантажень виконується при натисканні відповідних типу навантажень кнопок при активізації закладки «Загружения» (Рис. 4.1).

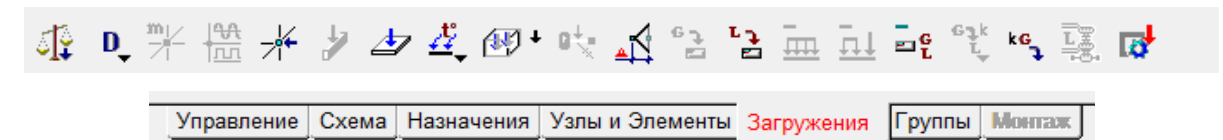


Рис. 4.1 Завдання навантажень

4.2 Формування груп навантажень (комбінацій)

Формування комбінацій завантажень здійснюється у відповідному розділі дерева проекту, при цьому, необхідно вказувати коефіцієнти сполучень включення тих чи інших навантажень в створювану комбінацію відповідно ДБН «Навантаження і впливи».

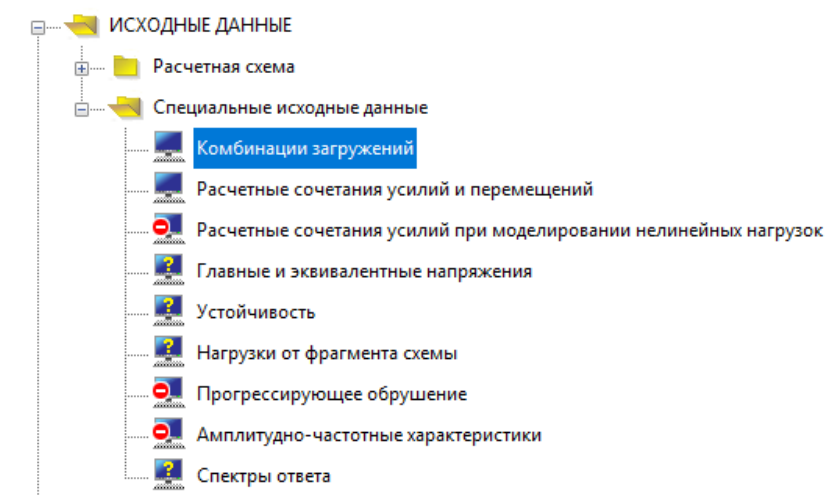


Рис. 4.2 Дерево проекту. Завдання комбінацій навантажень

5 Опис комп'ютерної розрахункової схеми

Виконується на підставі Розділу 3, з прийнятими ідеалізуючими інформаційну модель споруди припущеннями. Проводиться опис прийнятих припущень. Наводяться візуалізація розрахункової схеми.

6 Коротка характеристика методики розрахунку

В основу розрахунку покладено метод скінченних елементів (МСЕ) з використанням в якості основних невідомих переміщень і поворотів вузлів розрахункової схеми. У зв'язку з цим ідеалізація конструкції виконана у формі, пристосованій до використання цього методу, а саме: система представлена у вигляді набору тіл стандартного типу (стрижнів, пластин, оболонок і т.д.), які називаються кінцевими елементами і приєднані до вузлів.

Тип кінцевого елемента визначається його геометричною формою, правилами, що визначають залежність між переміщеннями вузлів кінцевого елемента і вузлів системи, фізичним законом, що визначає залежність між внутрішніми зусиллями і внутрішніми переміщеннями, і набором параметрів (жорсткостей), що входять в опис цього закону і ін.

Вузол в розрахунковій схемі методу переміщень представляється у вигляді абсолютно жорсткого тіла зникаюче малих розмірів. Положення вузла в просторі при деформаціях системи визначається координатами центру і кутами повороту трьох осей, жорстко пов'язаних з вузлом. Вузол представлений як об'єкт, що володіє шістьма ступенями свободи - трьома лінійними зміщеннями і трьома кутами повороту.

Всі вузли і елементи розрахункової схеми нумеруються. Номери, присвоєні їм, слід трактувати тільки, як імена, які дозволяють робити необхідні посилання.

Основна система методу переміщень обирається шляхом накладення в кожному вузлі всіх зв'язків, що забороняють будь-які вузлові переміщення.

Умови рівності нулю зусиль у цих зв'язках є дозволяють рівняння рівноваги, а зміщення зазначених зв'язків - основні невідомі методу переміщень.

У загальному випадку в просторових конструкціях у вузлі можуть бути присутніми всі шість переміщень:

- 1 - лінійне переміщення уздовж осі X;
- 2 - лінійне переміщення уздовж осі Y;
- 3 - лінійне переміщення уздовж осі Z;
- 4 - кут повороту з вектором уздовж осі X (поворот навколо осі X);
- 5 - кут повороту з вектором уздовж осі Y (поворот навколо осі Y);
- 6 - кут повороту з вектором уздовж осі Z (поворот навколо осі Z).

Нумерація переміщень в вузлі (ступенів свободи), представлена вище, використовується далі всюди без спеціальних застережень, а також використовуються відповідно позначення X, Y, Z, UX, UY і UZ для позначення величин відповідних лінійних переміщень і кутів повороту

Відповідно до ідеології методу кінцевих елементів, справжня форма поля переміщень усередині елемента (за винятком елементів стрижневого типу) наближено представлена різними спрощеними залежностями. При цьому похибка у визначенні напружень та деформацій має порядок $(h / L)^k$, де h - максимальний крок сітки; L - характерний розмір області. Швидкість зменшення помилки наближеного результату (швидкість збіжності) визначається показником ступеня k, який має різне значення для переміщень і різних компонент внутрішніх зусиль (напруг).

Для завдання даних про розрахункову схему можуть бути використані різні системи координат, які в подальшому перетворюються в декартові. Надалі для опису розрахункової схеми використовуються наступні декартові системи координат:

- глобальна правобічна система координат XYZ, пов'язана з розрахунковою схемою;
- локальні правобічні системи координат, пов'язані з кожним кінцевим елементом.

Розрахункова схема визначена як система з ознакою 5. Це означає, що розглядається система загального вигляду, деформації якої і її основні невідомі представлені лінійними переміщеннями вузлових точок вздовж осей X , Y , Z і поворотами навколо цих осей.

7 Опис прийнятих для моделі кінцевих елементів

У розрахункову схему включені кінцеві елементи наступних типів:

Стрижневі кінцеві елементи, для яких передбачена робота за звичайними правилами опору матеріалів. Опис їх напруженого стану пов'язаний з місцевою системою координат, у якій вісь $X1$ орієнтована уздовж стрижня, а осі $Y1$ і $Z1$ - уздовж головних осей інерції поперечного перерізу.

Деякі стрижні приєднані до вузлів через абсолютно жорсткі вставки, за допомогою яких враховуються ексцентриситети вузлових примикань. Тоді вісь $X1$ орієнтована уздовж пружної частини стрижня, а осі $Y1$ і $Z1$ - уздовж головних осей інерції поперечного перерізу пружної частини стрижня.

До стрижневим кінцевим елементам розглянутої розрахункової схеми належать такі типи елементів:

Елемент типу 10, який працює по просторовій схемі і сприймає поздовжню силу N , згинальні моменти M_y і M_z , поперечні сили Q_z і Q_y , а також крутний момент M_k .

Кінцеві елементи оболонок, геометрична форма яких на малій ділянці елемента є плоскою (вона утворюють багатогранник, вписаний в дійсну криволінійну форму серединної поверхні оболонки). Для цих елементів, відповідно до ідеології методу скінченних елементів, справжня форма переміщень усередині елемента наближено представлена спрощеними залежностями.

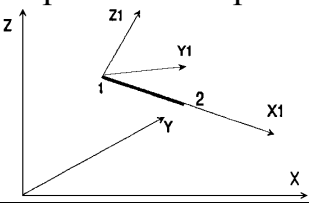
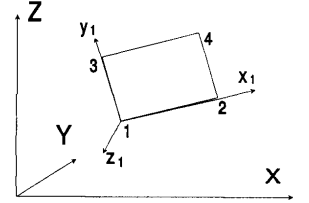
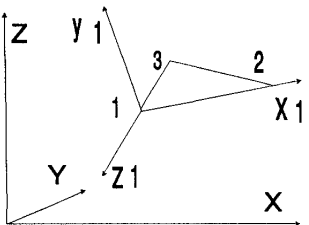
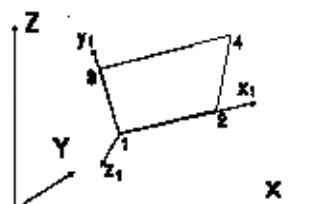
Опис їх напруженого стану пов'язаний з місцевою системою координат, у якій осі $X1$ і $Y1$ розташовані в площині елемента і вісь $X1$ спрямована від першого вузла до другого, а вісь $Z1$ ортогональна поверхні елемента.

Трикутний елемент типу 42, не є спільним і моделює поле нормальних переміщень усередині елемента поліномом 4 ступеня, а поле тангенціальних переміщень поліномом першого ступеня. Розташовується в просторі довільним чином.

Чотирикутний елемент типу 44, який має чотири вузлові точки, не є спільним і моделює поле нормальних переміщень усередині елемента поліномом 3 ступеня, а поле тангенціальних переміщень неповним поліномом 2 ступеня. Розташовується в просторі довільним чином. В рамках курсового проекту розрахунки виконуються без урахування фізичної нелінійності роботи матеріалів (лінійна постановка завдання).

Основні характеристики кінцевих елементів, які використовуються при складанні розрахункової моделі, представлені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 Опис типів кінцевих елементів (КЕ), що використовуються при побудові комп'ютерної моделі

N CE	Найменування CE	Площина розташува ння	Ступені свободи	Коментарі
10	Універсальний стрижень 	довільно	X,Y,Z, UX,UY,UZ	1. Використовується для одно-, дво- і тривимірних задач.
41	Універсальний прямокутний елемент оболонки 	довільно	X,Y,Z UX,UY,UZ	1.Допускається наявність пружної основи. 2.Учітуються властивості матеріалу: - изотропія; - трансверсальна изотропія; - ортотропія; - анізотропія
42	Універсальний трикутний елемент оболонки 	довільно	X,Y,Z, UX,UY,UZ	1.Допускається наявність пружної основи. 2.Учітуються властивості матеріалу: - изотропія; - трансверсальна изотропія; - ортотропія; - анізотропія
44	Універсальний чотирикутний елемент оболонки 	довільно	X,Y,Z UX,UY,UZ	1.Допускається наявність пружної основи. 2.Учітуються властивості матеріалу: - изотропія; - трансверсальна изотропія; - ортотропія; - анізотропія

8 Вибіркові результати розрахунків (документування)

У вибіркових результатах розрахунку наводяться деформовані схеми моделі конструкції з якісної характеристикою деформацій як від окремих завантажень, так і від прийнятих комбінацій завантажень.

Епюри внутрішніх зусиль стрижневих елементів.

Результати перевірки перетинів стрижневих елементів за двома групами граничних станів.

Результати підбору (оптимізації) перетинів елементів.

9 Висновки і рекомендації

У розділі висновки і рекомендації необхідно сформулювати висновки за результатами розрахунку інформаційної моделі об'єкта (ГОСТ 34.003-90), представленої у вигляді інформації, яка описує суттєві для даного розгляду параметри і змінні величини об'єкта, зв'язку між ними, з навколишнім середовищем і дозволяє шляхом подачі на модель конструкції інформації про зміни вхідних величин моделювати можливі стану об'єкта.

Висновки повинні включати інформації про можливості або неможливості використання розрахункової моделі конструкції у виробництві або подальшої експлуатації, в залежності від завдання на проектування.

10 Приклад оформлення курсового проекту

Вступ

На підставі вихідних даних: висота затвора, ширина затвора, довідкові дані: сортамент профілів металопрокату, класи стали (ДСТУ 3436-96, ДСТУ Б В.2.6-8-95 та ін.) здійснено збір навантажень, сформовані комбінації завантажень і розрахункових сполучень зусиль. Виконано розрахунки затвора, визначені переміщення елементів конструкції затвора, була виконана перевірка елементів конструкції затвора, проведений підбір перерізів елементів, які відповідають умовам міцності і деформативності за двома групами граничних станів.

Початкові дані

Виконується затвор з квадратних металевих труб і швелерів, приварюється до напірної грані. Напірна грань формується металевим листом і приварюється до жорсткістних елементів конструкції. В якості жорсткістних елементів конструкції виступають 2 горизонтальні ферми, висотою 1,08 м і шириною 6,5 м, і ряд вертикальних ферм довжиною 6,5м і висотою 1,08м. Елементи твердості формуються відповідно до рівнодіючої епюр тиску води, яка прикладена на 1/3 від низу затвора, 2/3 від верху, відповідно до напору води при максимальному заповненні водосховища.

1 Опис конструктивних рішень

Затвор складається з прокатних профілів швелерів з паралельними гранями полиць по ДСТУ 3436-96 (24П, 22, 27), квадратних труб по ДСТУ Б В.2.6-8-95 (180x5), металевій пластини з якісної сталі, товщиною 0,01 м. Являє собою зварену конструкцію з профілів металопрокату, попередньо, перетини

елементів призначені наступним чином: перетин швелера 24П, 22П і 27, перетин металевих квадратних труб 180x5.

Затвор по контуру сформований системою 4-х прокатних профілей-швелерів № 24П. У вертикальному напрямку просторову жорсткість площині напірної грані надають швелера № 24П. Частина з цих елементів є верхнім поясом ряду вертикальних ферм, висотою 1,08 м. Нижній пояс вертикальних ферм представлений прокатними профілями швелерів № 27. Решітка вертикальних ферм виконана з швелерів № 24П. Дві горизонтальних ферми розташовуються на висоті 1,08 м і 3,25 м. Верхній, нижній пояси і решітка виконані з швелерів №24П. Висота горизонтальної ферми 1,08м. Опорні елементи знаходяться в пазах затвора представлені квадратними трубами, перетином 180мм з товщиною стінки 5 мм. Положення характеристик жорсткості елементів уточнювалося шляхом встановлення жорстких вставок, величина і напрямок яких визначалося для кожного елемента. Жорсткі вставки встановлюються в загальній системі координат з відповідно спрямований знаками + \ -.

Орієнтація елементів в просторі визначалася становищем місцевих осей елементів.

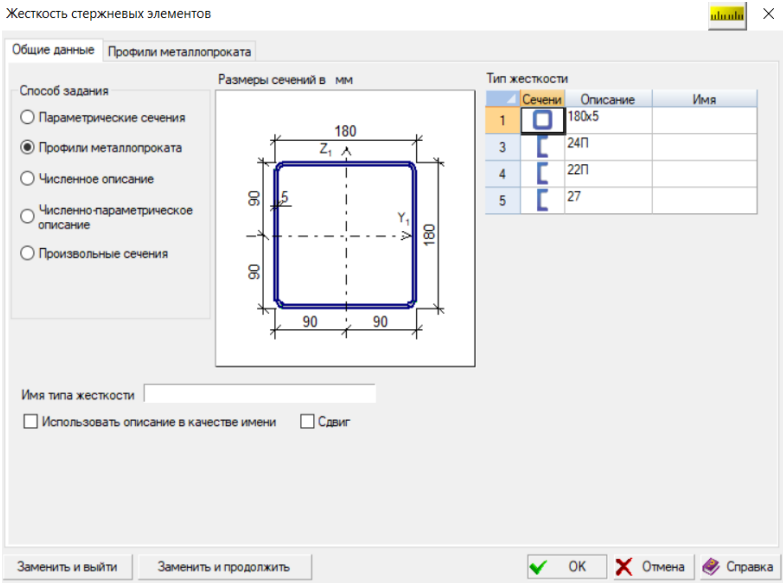


Рис. 1.1.Тип жорсткості 1. Квадратні труби №180x5

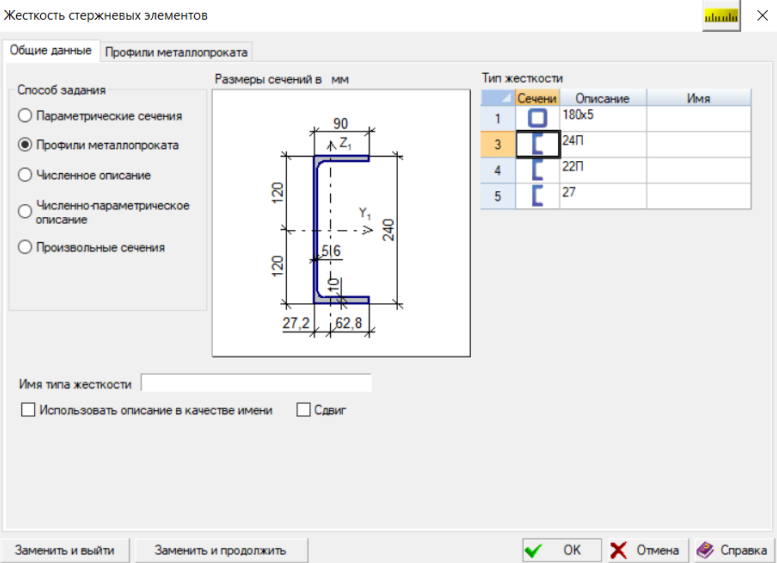


Рис. 1.2 Тип жорсткості 3. Перетин швелера №24П

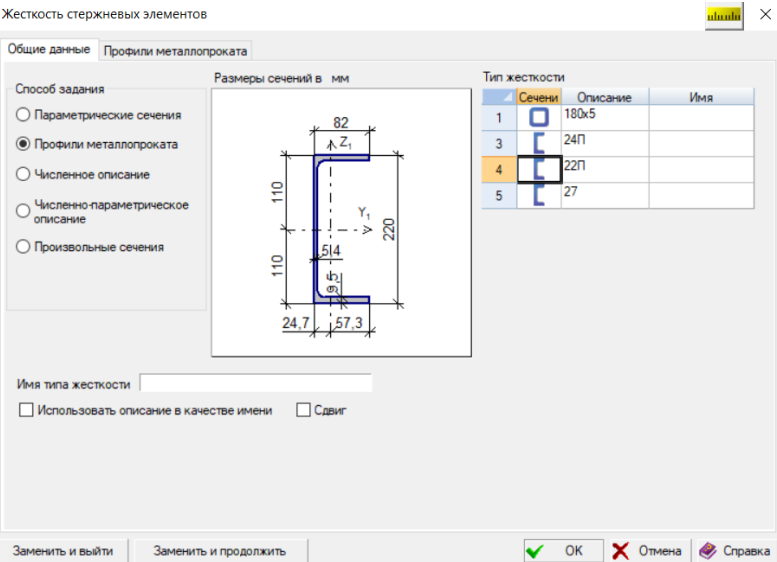


Рис. 1.3 Тип жорсткості 4. Перетин швелера №22П

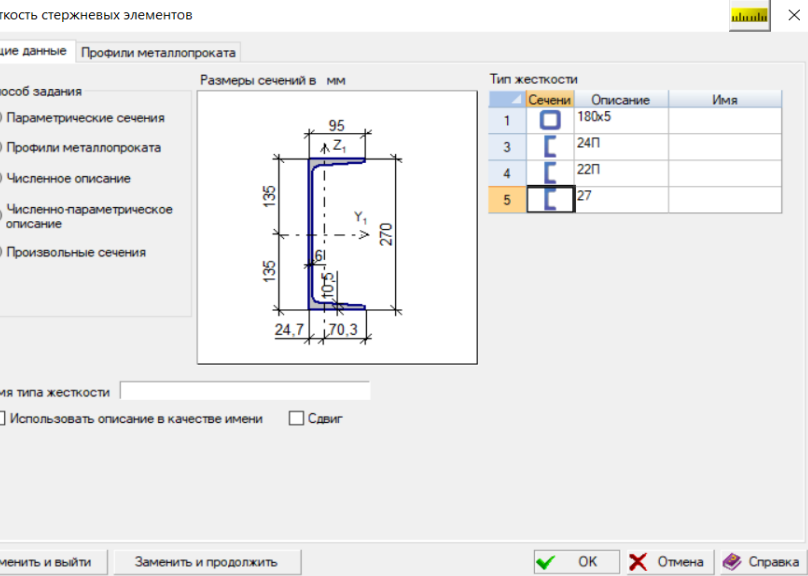


Рис. 1.4 Тип жорсткості 5. Перетин швелера №27

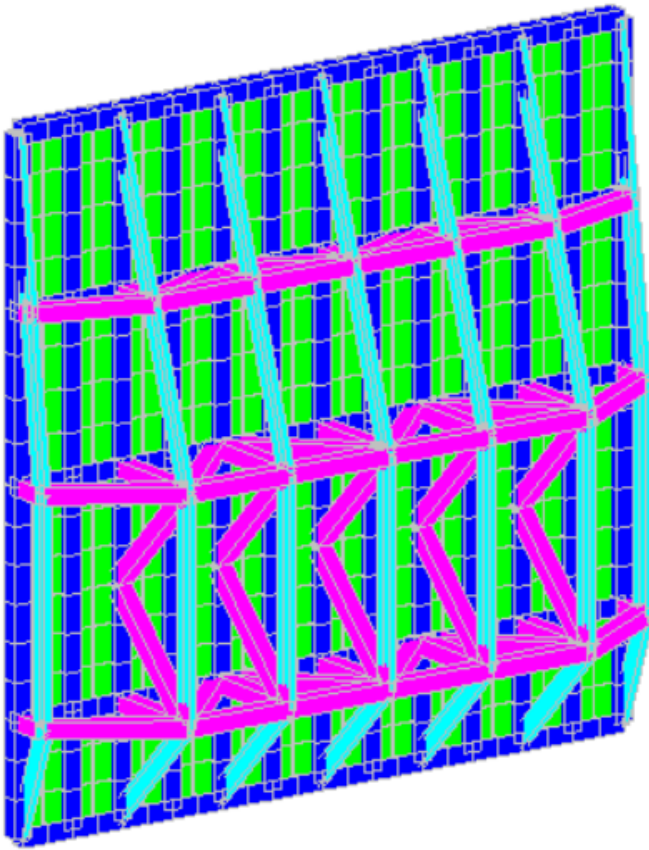


Рис. 1.5 Загальний вигляд. Перетини елементів розрахункової моделі

2 Граничні умови

По бічних сторонах в 2 точках встановлені шарнірні зв'язки, конструкція затвора в цих точках може переміщатися тільки у вертикальній площині.

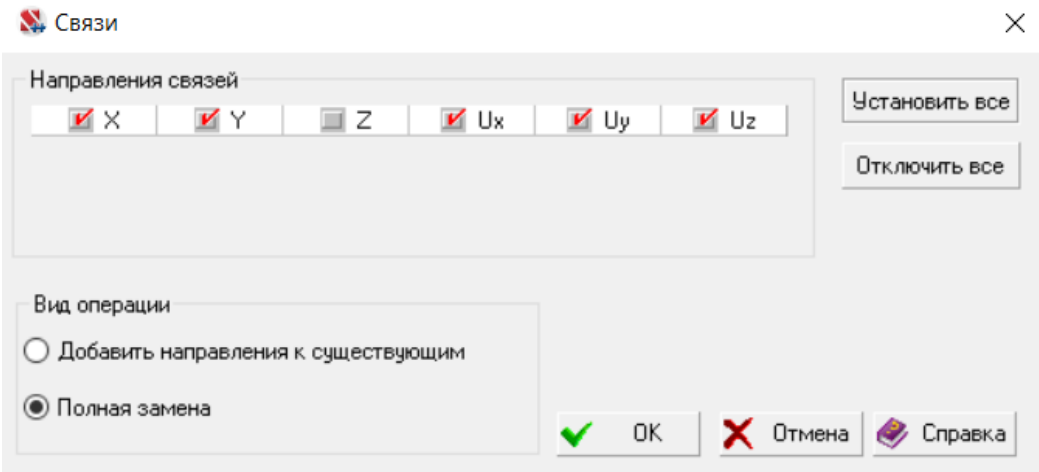


Рис. 2.1 Встановлені зв'язки по бічних гранях

Так само задані і інші умови обпирання: нижня частина конструкції може зрушуватися або згинатися в будь-якій площині крім вертикальної.

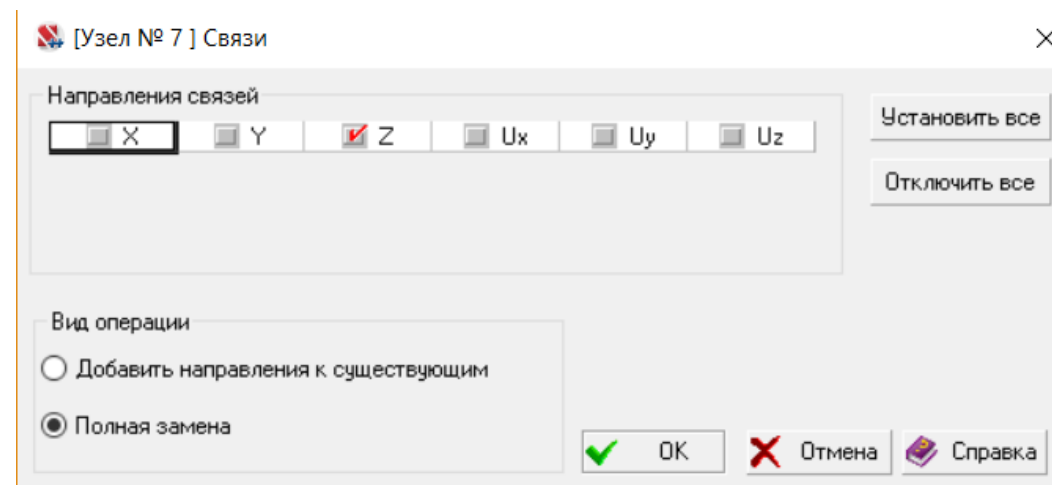


Рис. 2.2 Встановлені зв'язки в нижній частині конструкції

3 Призначення навантажень

Відповідно до ДБН В.1.2-2:2006 (Навантаження і впливи) були сформовані в логічні комбінації завантаження: власна вага враховувалася з кожним гідростатичним навантаженням, які взаємовиключають одне одного.

Діючі навантаження на затвор:

1. Власна вага – постійне навантаження і прийняте з коефіцієнтом надійності за навантаженням $f_m = 1,05$ (визначається засобами програмного забезпечення SCAD автоматично).
2. Гідростатичний тиск води – короткочасне навантаження, прийняте з коефіцієнтом надійності за навантаженням $f_m = 1,05$. Прийнято 3 варіанти завантаження (Рис. 3.1-3.3).



Рис. 3.1 Гідростатичне навантаження при повному заповненні (т/м^2)

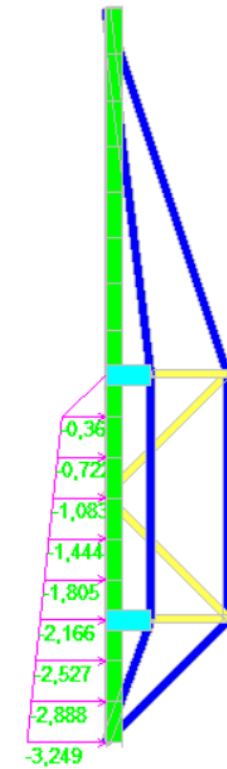


Рис. 3.2 Гідростатичне навантаження при напорі $2/3H$ (т/м^2)

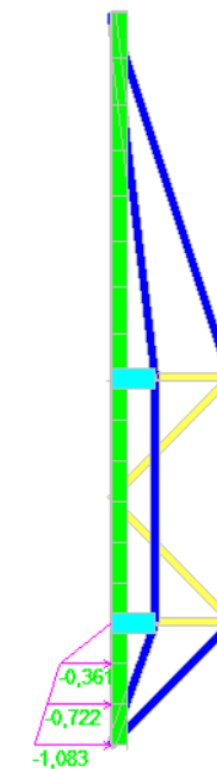


Рис. 3.3 Гідростатичне навантаження при напорі на $1/3H$ (т/м^2)

4 Збір навантажень і опис прийнятих схем завантажень

Завантаження з розділу 3 були сформовані в логічні комбінації завантажень з коефіцієнтами поєднання рівними 1.

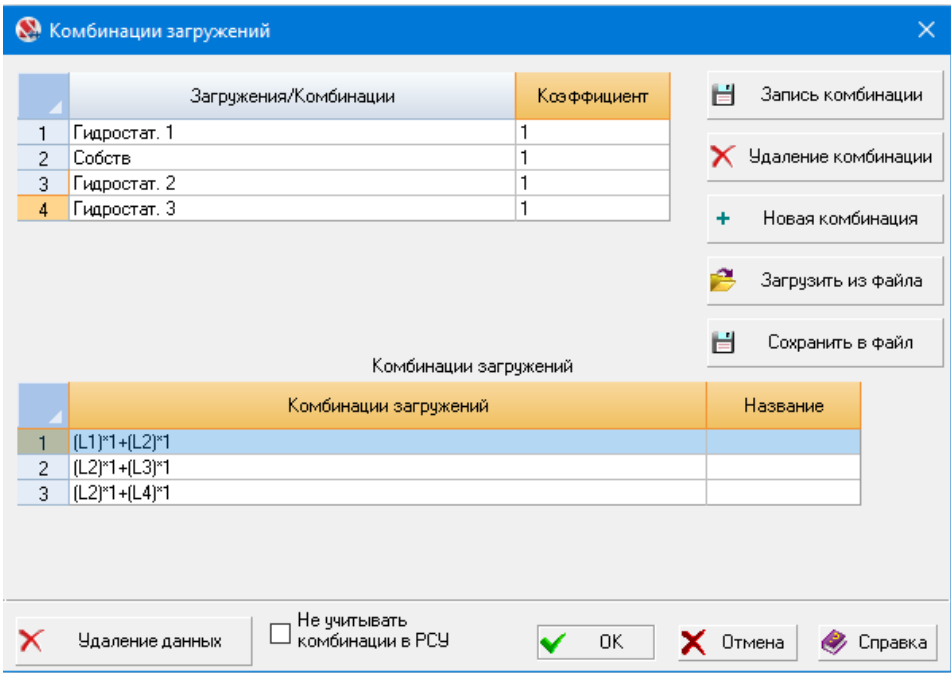


Рис. 4.1 Комбінації завантажень

Розділи 5 і 6 в цьому прикладі не наводяться для стислості.

Розділи заповнюються відповідно до цих методичних вказівок і включають в себе опис прийнятих кінцевих елементів і коротку характеристику методики розрахунку в програмному комплексі ПК SCAD

7 Вибіркові результати розрахунку

Виконано розрахунки поверхневого затвора із заданими геометричними розмірами, попередньо призначеними перетинами і комбінаціями завантажень. Нижче представлені вибіркові результати розрахунку і перевірки перетинів елементів конструкції поверхневого гідротехнічного затвора по 2 групам граничних станів.

Результати експертизи сталевих конструкцій

Розрахунок виконаний за ДБН В.2.6-198:2014.
Конструктивна Група 1.

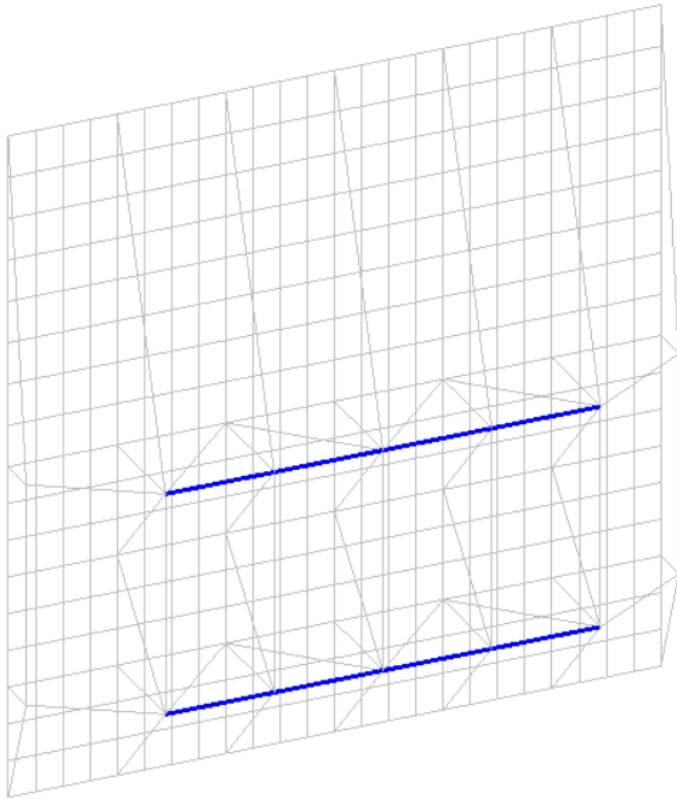
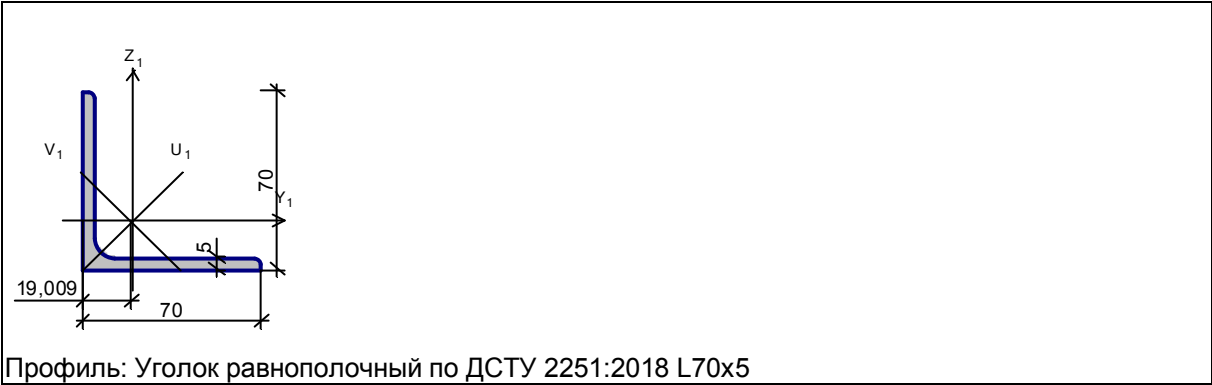


Рис. 7.1 Елементи сталеві конструкції

Конструктивная группа 1 . Элементы № 45 и 46.

Сталь: С235
Длина элемента 4,332 м
Предельная гибкость для сжатых элементов: 180 - 60α
Предельная гибкость для растянутых элементов: 400
Коэффициент условий работы 1,1
Коэффициент надежности по ответственности 1
Коэффициент расчетной длины в плоскости X₁OV₁ 0,5
Коэффициент расчетной длины в плоскости X₁OU₁ 0,5
Расстояние между точками раскрепления из плоскости изгиба 4,332 м.

Сечение



Результаты расчета	Проверка	Коэффициент использования
п.8.1.3	Прочность при центральном сжатии/растяжении	2,977
п.8.1.3	Устойчивость при сжатии уголка относительно главных осей	0,031
п.13.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOY	1,026
п.13.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOZ	0,534

Коэффициент использования 2,977 - Прочность при центральном сжатии/растяжении.

Результати експертизи сталевих конструкцій

Розрахунок виконаний за ДБН В.2.6-198:2014.

Конструктивна Група 2.

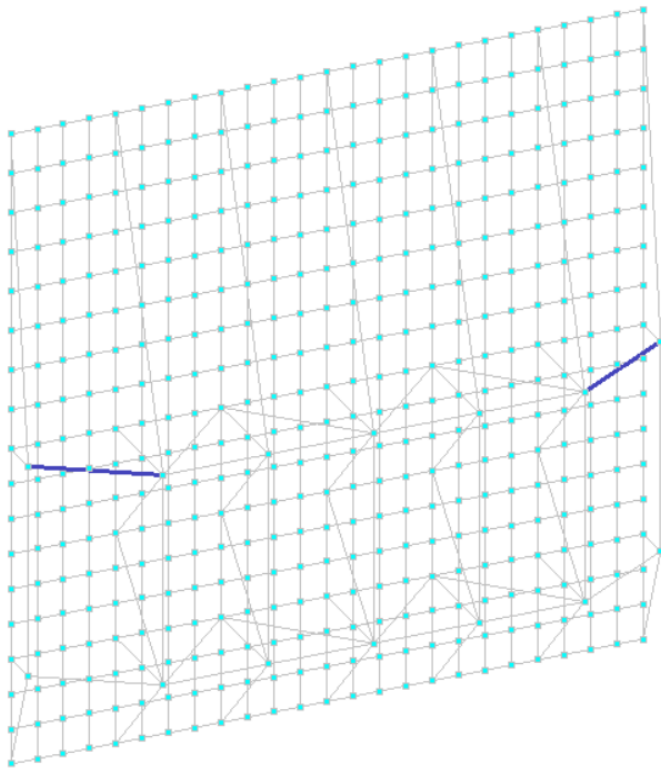
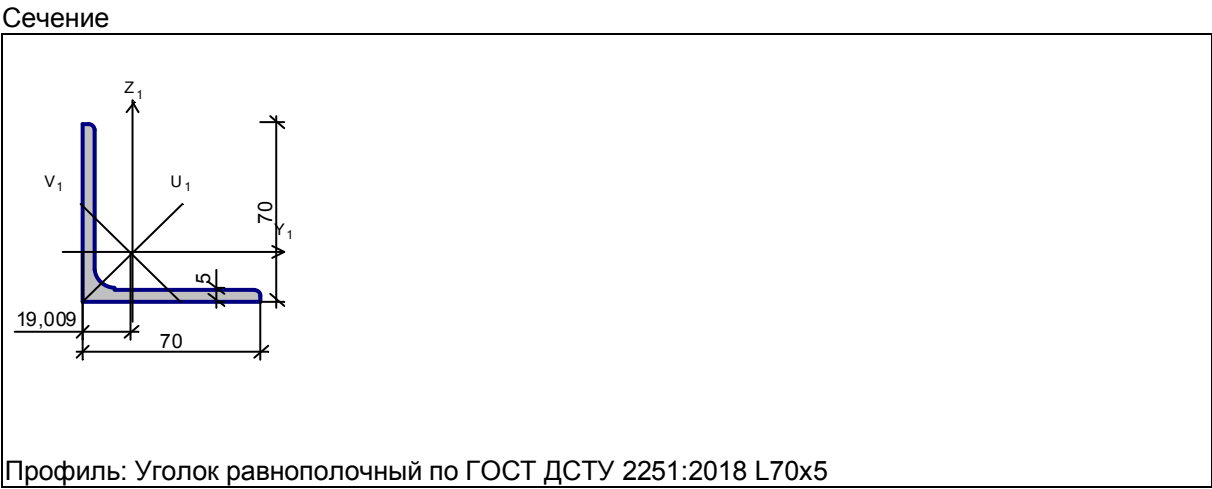


Рис. 7.2 Елементи сталевोї конструкції

Конструктивная группа 2. Элемент № 18 и 44.
Сталь: С235
Длина элемента 1,28 м
Предельная гибкость для сжатых элементов: 180 - 60α
Предельная гибкость для растянутых элементов: 400
Коэффициент условий работы 1,1
Коэффициент надежности по ответственности 1
Коэффициент расчетной длины в плоскости X₁OV₁ 0,5
Коэффициент расчетной длины в плоскости X₁OU₁ 0,5
Расстояние между точками раскрепления из плоскости изгиба 1,28 м



Результаты расчета	Проверка	Коэффициент использования
п.8.1.3	Прочность при центральном сжатии/растяжении	2,548
п.8.1.3	Устойчивость при сжатии уголка относительно главных осей	0,021
п.13.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOY	0,303
п.13.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOZ	0,158

Коэффициент использования 2,548 - Прочность при центральном сжатии/растяжении.

Результати експертизи сталевих конструкцій

Розрахунок виконаний за ДБН В.2.6-198:2014.

Конструктивна Група 3.

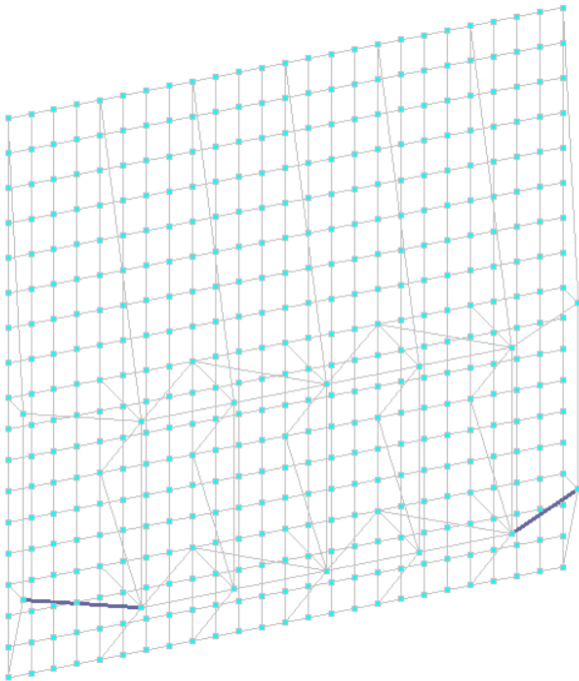


Рис. 7.3 Елементи сталевोї конструкції

Конструктивная группа группа 3. Элемент № 38 и 12.
Сталь: С235
Длина элемента 1,282 м
Предельная гибкость для сжатых элементов: $180 - 60\alpha$
Предельная гибкость для растянутых элементов: 400
Коэффициент условий работы 1,1
Коэффициент надежности по ответственности 1
Коэффициент расчетной длины в плоскости X_1OV_1 0,5
Коэффициент расчетной длины в плоскости X_1OU_1 0,5
Расстояние между точками раскрепления из плоскости изгиба 1,282 м
Сечение



Результаты расчета	Проверка	Коэффициент использования
п.8.1.3	Прочность при центральном сжатии/растяжении	2,439
п.8.1.3	Устойчивость при сжатии уголка относительно главных осей	0,009
п.13.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOY	0,304
п.13.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOZ	0,158

Коэффициент использования 2,439 - Прочность при центральном сжатии/растяжении.

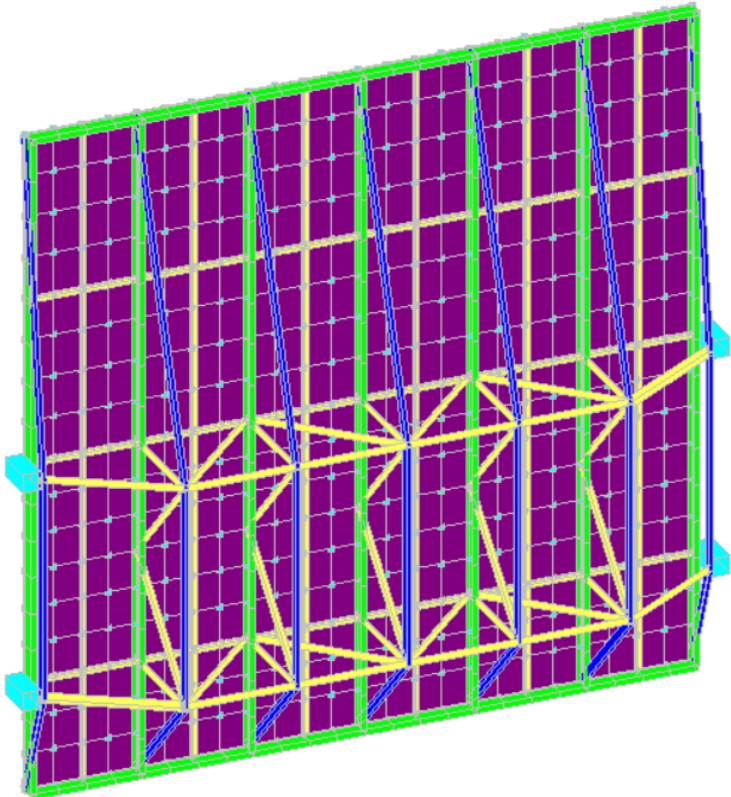


Рис. 7.4 Загальний вигляд. Перетини елементів розрахункової моделі

У розглянутій конструкції ряд елементів не забезпечує надійність по першій групі граничних станів. У зв'язку з цим, перетини цих елементів були замінені (Табл. 7.1) і виконаний перерахунок.

Таблиця 7.1

№ елементів	Перетини елементів, що не забезпечують міцність	Замінні перетини
18, 44	Кутник перетином №75x5	Труби квадратні перетином №160x7
38, 12	Швелер з паралельними гранями полиць №14П	Металеві квадратні труби перетином №180x7
45, 46	Швелер з паралельними гранями полиць перетином №8П	Швелер з ухилом полиць перетином № 180x7

Остаточно прийняті перетини і загальні види затвора представлені на рис. 7.5-7.7. Коефіцієнт використання перетинів замінних елементів не перевищує 1.

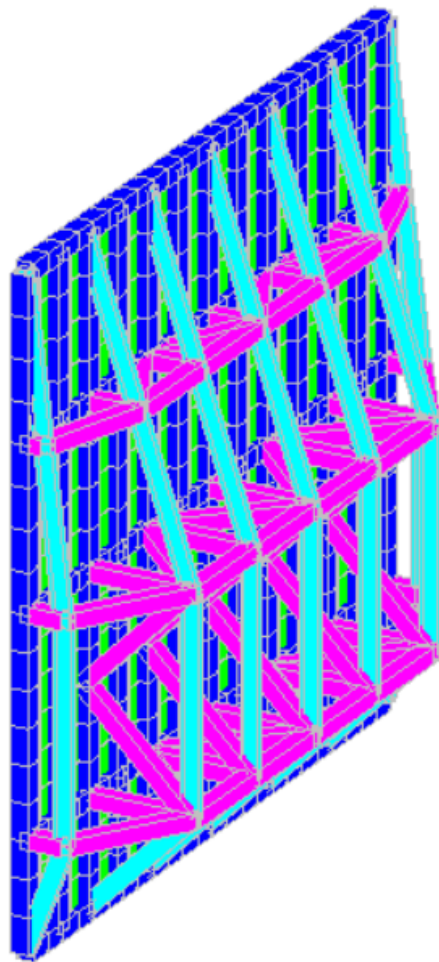


Рис. 7.5 Загальний вигляд. Перетини елементів розрахункової моделі



Рис. 7.6 Перетини елементів розрахункової моделі. Вид збоку

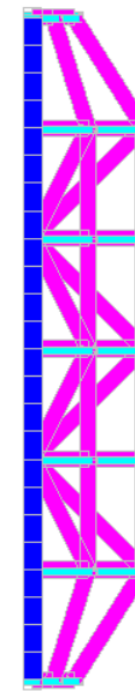


Рис. 7.7 Перетини елементів розрахункової моделі. Вид зверху

Заміна характеристик жорсткості елементів

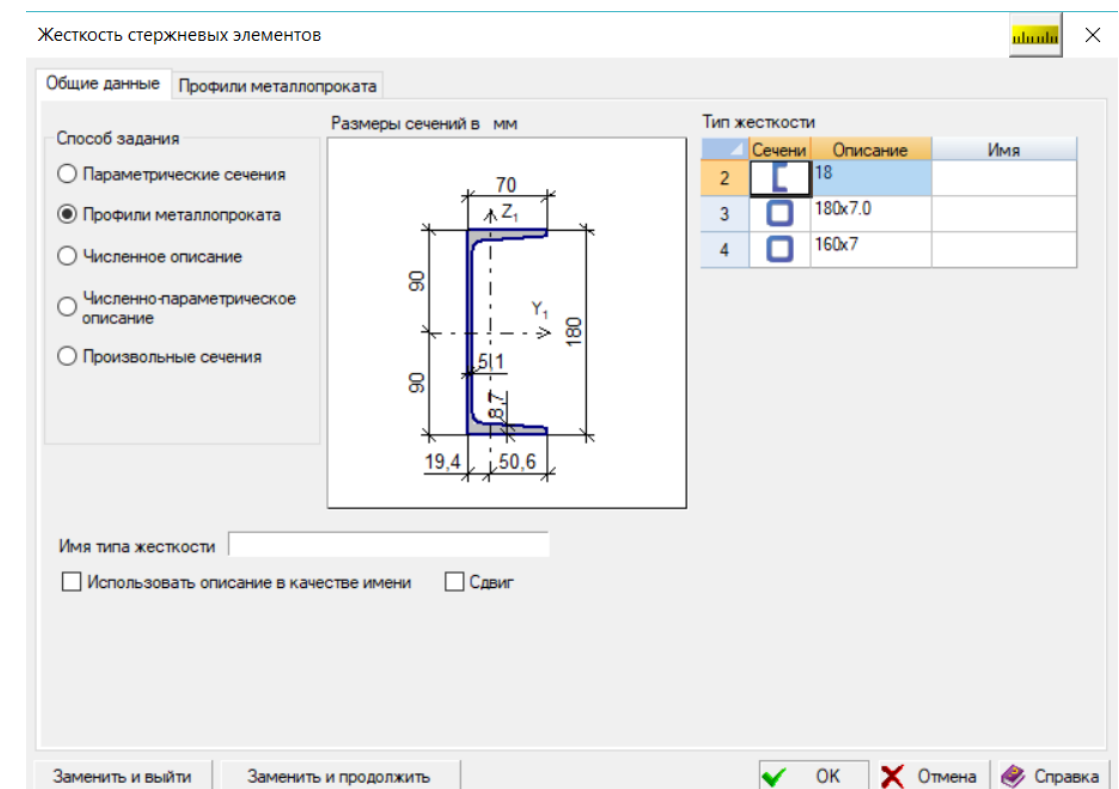


Рис. 7.8 Тип жорсткості 2. Перетин - Швелер №18

Висновки

В роботі наведені вибіркові результати розрахунків перевірки попередньо призначених перетинів елементів конструкції поверхневого гідротехнічного затвора. В результаті проведених розрахунків підібрані перетини елементів конструкції затвора задовольняють умовам міцності і деформації і можуть бути прийняті для розробки конструкторської документації.

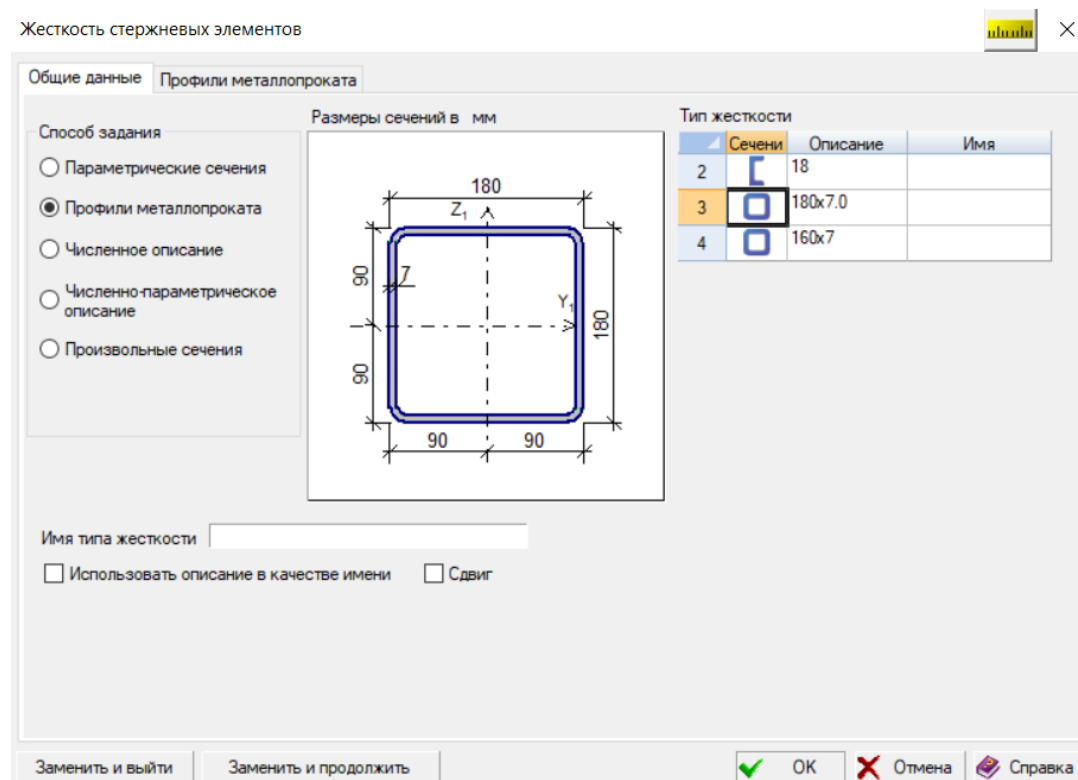


Рис. 7.9 Тип жорсткості 3. Перетин - труби металеві 180x7

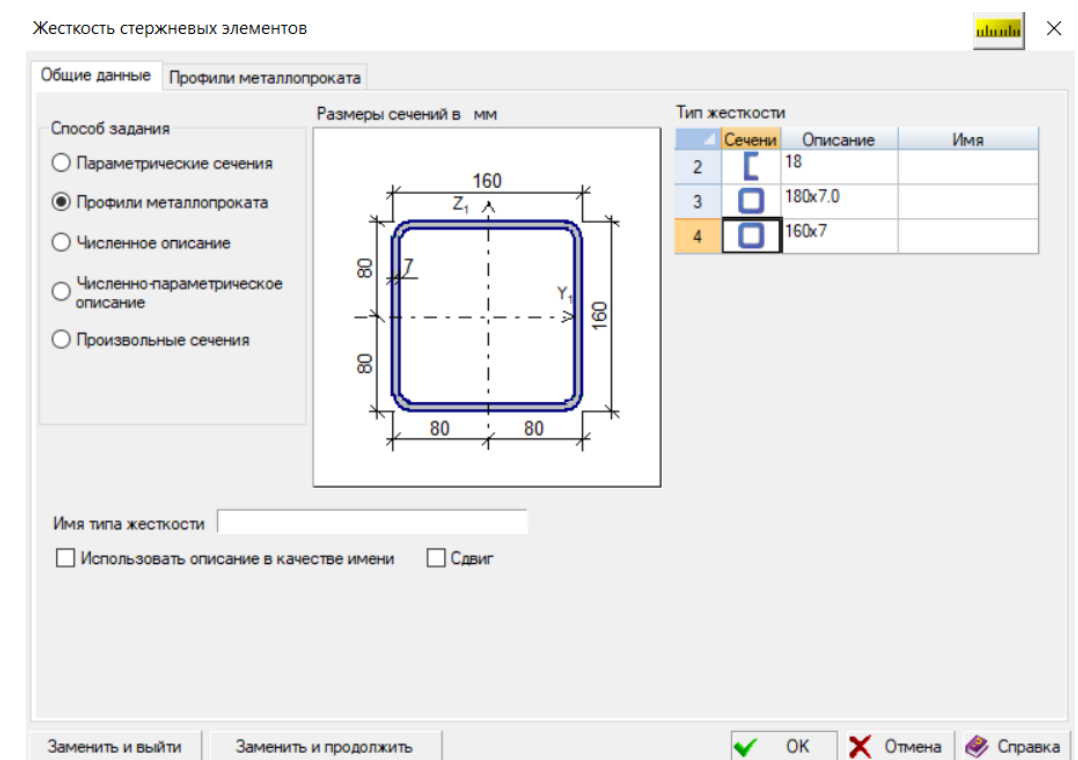


Рис. 7.10 Тип жорсткості 4. Перетин - труби металеві 160x7

ДОДАТОК А. Вихідні дані

У таблиці наведені габаритні розміри поверхневого гідротехнічного затвора за варіантами. Довжини, перетини і розташування елементів об'ємної конструкції затвора призначаються відповідно рекомендаціям курсу «Гідротехнічні споруди» і коригуються в процесі розрахунку.

Таблиця А.1 Вихідні дані

Варіант	Ширина затвора, м	Висота затвора, м
1	7,5	9
2	8	8,5
3	8,5	8
4	9	7,5
5	9,5	7
6	10	6,5
7	10,5	6
8	11	5,5
9	11,5	6
10	12	6,5
11	11,5	7
12	11	7,5
13	10,5	8
14	10	8,5
15	9,5	9

Розрахункова модель конструкції може бути призначена індивідуально після узгодження з викладачем.

ДОДАТОК Б. Довідкові дані

Таблиця Б.1 Фізико-механічні характеристики важкого бетону

Клас бетону	Об'ємна вага, т/м³	Модуль пружності, т/м²	Коефіцієнт Пуассона
C10/15	2,5	2350000	0,2
C15/20		2750000	
C20/25		3060000	
C25/30		3310000	

Таблиця Б.2 Фізико-механічні характеристики стали

	Об'ємна вага, т/м³	Модуль пружності, т/м²	Коефіцієнт Пуассона
Сталь звичайна	7,85	21000000	0,3
Алюмінієві сплави	2,7	7100000	0,3

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В 2.4-3:2010 Гідротехнічні споруди. Основні положення. К.: Мінрегіон України, 2010. - 41 с.
2. ДБН В 1.2-2:2006 Навантаження і впливи. Норми проектування. К.: Мінрегіон України, 2006. – 78 с.
3. ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції». К.: Мінрегіон України, 2014. - 206 с.
4. ДБН В.1.2-14:2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд». К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. - 36 с.
5. ДСТУ 2251:2018 Кутики сталеві гарячекатані рівнополічні. Сортамент. К.: ДП «УкрНДНЦ, 2018. – 13 с.
6. ДСТУ 3436-96 Швелери сталеві гарячекатані полок. Сортамент. К.: Держстандарт України. – 36 с.
7. ДСТУ Б В.2.6-8-95 Профілі сталеві гнуті замкнуті зварні квадратні і прямокутні для будівельних конструкцій. К.: Держстандарт України. – 19 с.
8. ДСТУ 8540:2015 Прокат для будівельних сталевих конструкцій. Загальні технічні умови. К.: ДП «УкрНДНЦ, 2016. – 23 с.
9. ГОСТ 34.003-90 «Информационные технологии (ИТ). Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения». М.: Стандартформ, 2009. – 16 с.
10. Карпиловский В.С./ SCAD Office, Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD++/ Карпиловский В.С ., Криксунов З.З., Маляренко А.А., Фиалко С.Ю., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А. / - М.а: АСВ, СКАД СОФТ, 2015. - 848 с.
11. Баженов В.А. Строительная информатика. Автоматизированное проектирование несущих конструкций зданий и сооружений /В.А.Баженов, Э.З. Криксунов, А.В. Перельмутер, О.В.Шишов/ Учебное пособие. -М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 460 с.
12. А.С. Городецкий Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций. Учебное пособие /А.С. Городецкий, В.С. Шмуклер, А.В.Бондарев/ Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. - 889 с.