

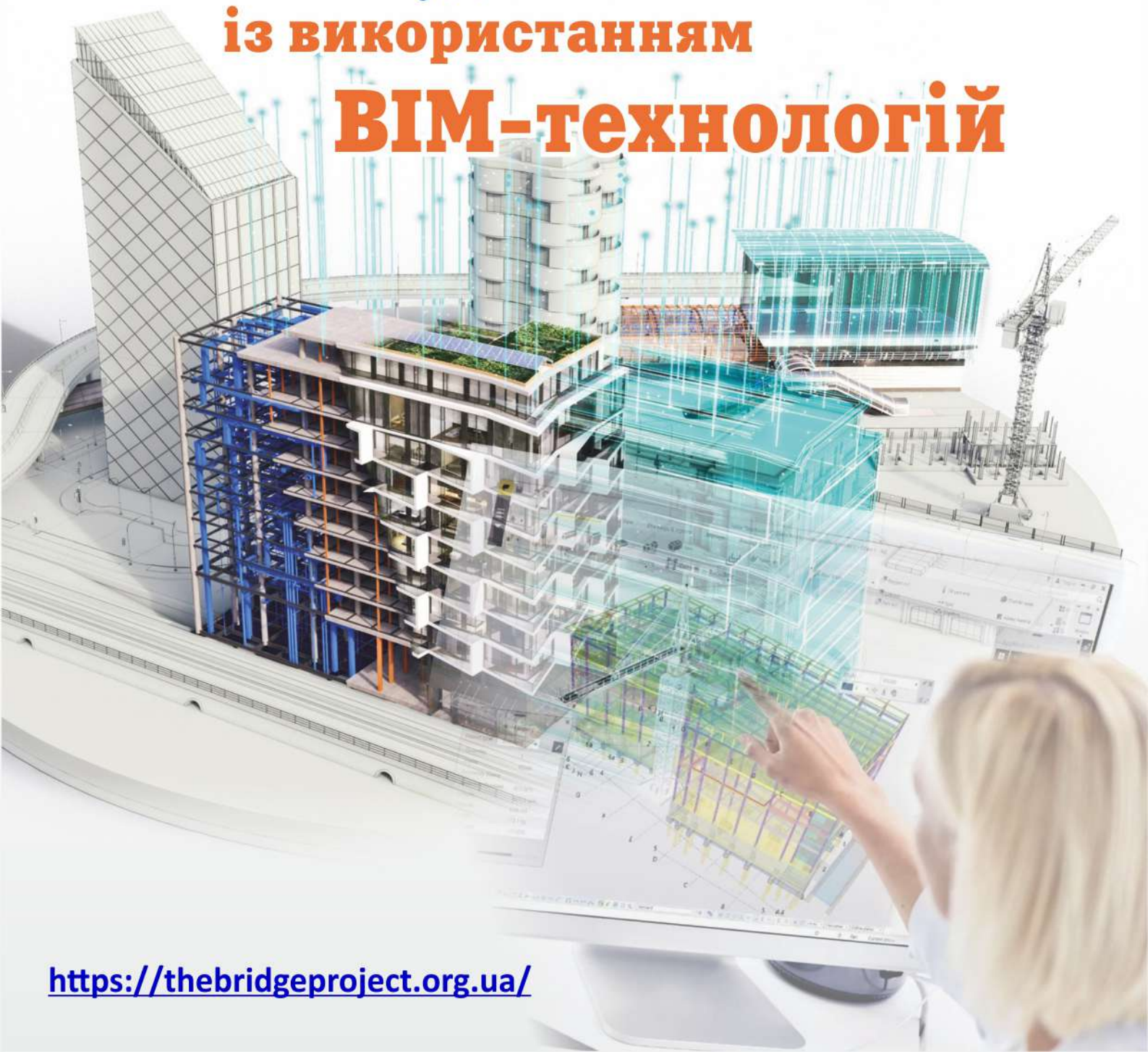


Co-funded by
the European Union

The **Bridge** IM architecture
engineering
construction

Практикум

СУЧАСНІ ПІДХОДИ до проєктування, аналізу та оцінки будівельних систем із використанням BIM-технологій



<https://thebridgeproject.org.ua/>

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПРОЄКТУВАННЯ, АНАЛІЗУ ТА ОЦІНКИ БУДІВЕЛЬНИХ СИСТЕМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВІМ- ТЕХНОЛОГІЙ

Практикум

За ред. Ю. В. Булгакової та Н. С. Чернової

Проект співфінансується Європейським Союзом, проте висловлені погляди та думки належать лише авторам цього проекту і не обов'язково відображають погляди Європейського Союзу чи Європейського виконавчого агентства з питань освіти та культури. Ні Європейський Союз, ні грантодавець не можуть нести за них відповідальність.

Дніпро

2025

Практикум рекомендовано до друку рішенням Вченої ради Українського державного університету науки і технологій МОН України, протокол № 1 від 24.09.2025 р.

Авторський колектив: М. Г. Болотов, Т. Р. Ганєєв, І. І. Давидов, В. А. Загільський, В. В. Ковба, Д. В. Левківський, В. В. Малахов, А. С. Москвітін, О. Р. Позняк, Н. В. Пуштіна, С. Г. Рибачов, М. М. Руденко, В. Л. Сєдін, М. М. Сорока, М. Г. Сур'янінов, Р. Ю. Титаренко, Р. Є. Хміль, В. П. Чабан, В. І. Шеховцов.

За ред. Ю. В. Булгакової, Н. С. Чернової.

Наукові редактори:

Ю. В. Булгакова, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління комерційною діяльністю залізниць, Національний транспортний університет (м. Київ);

Н. С. Чернова, кандидат економічних наук, доцент кафедри економіки і менеджменту, Український державний університет науки і технологій (м. Дніпро).

Рецензенти:

І. І. Назаренко, Президент Академії будівництва України, доктор технічних наук, професор, машин і обладнання технологічних процесів Київський національний університет будівництва і архітектури, заслужений діяч науки і техніки України (м. Київ);

М. М. Бабенко, кандидат технічних наук, доцентка кафедри інженерії та фізики матеріалів, Словацький технічний університет у Братиславі (м. Братислава).

Сучасні підходи до проектування, аналізу та оцінки будівельних систем із використанням BIM-технологій : практикум / М. Г. Болотов, Т. Р. Ганєєв, І. І. Давидов та ін.; за ред. Ю. В. Булгакової та Н. С. Чернової ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2025. – 228 с.

ISBN 978-617-8314-79-8 (PDF)

У практикумі представлено матеріали науково-практичних досліджень, виконаних у межах реалізації міжнародного проекту програми Європейського Союзу Erasmus+ «The BRIDGE – Bridging Innovations, Knowledge and Skills for Integrating Digitalization in the Ukrainian Construction Sector».

Розглянуто сучасні підходи до проектування, аналізу та оцінки будівельних систем із використанням BIM-технологій, а також інноваційні рішення для забезпечення енергоефективності, точності розрахунків і взаємодії між програмними середовищами. Матеріали охоплюють питання термoeфективності екоорієнтованих модульних будинків, моделювання історичних будівель на основі хмари точок, використання BIM у конструктивному проектуванні, розрахунку металевих і залізобетонних конструкцій, аналізу взаємодії фундаментів із ґрунтовим середовищем, а також розробки моделей мікроклімату громадських будівель.

Видання призначене для науково-педагогічних працівників, аспірантів, здобувачів вищої освіти, а також фахівців у галузі будівництва, архітектури, енергетики та цифрового моделювання, які цікавляться практичним застосуванням BIM-технологій у навчальному процесі та професійній діяльності.

УДК 624.01:004.942(075.8)



Цей твір ліцензовано на умовах Ліцензії Creative Commons

[«Attribution-NonCommercial-ShareAlike» 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

[\(«Із зазначенням авторства – Некомерційна – Поширення на тих самих умовах» 4.0 Міжнародна\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

7. РОЗРАХУНКИ ТА ПРОЄКТУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ У TEKLA STRUCTURES

*І. І. Давидов
В. П. Чабан*

1. Вступ

Основною метою застосування Tekla Structures у навчальному процесі є формування у майбутніх майбутніх фахівців з будівництва та проєктування сучасних професійних компетентностей у галузі проєктування, моделювання та розрахунку металевих конструкцій з використанням технологій BIM (Building Information Modeling). Мета полягає не лише у вивченні програмного продукту, а й у комплексній підготовці фахівців нового покоління, здатних працювати з цифровими моделями, проводити розрахунки з урахуванням національних норм та Єврокодів, впроваджувати BIM-технології у практику проєктування та експлуатації будівель.

З цією метою передбачено виконання таких завдань.

Навчити студентів працювати в інтегрованій середі, де поєднуються 3D-моделювання, автоматизований розрахунок та випуск робочої документації. Показати переваги BIM-підходу порівняно з традиційним проєктуванням (зменшення помилок, автоматизація рутинних процесів, підвищення точності).

Ознайомити студентів із національними нормами (ДБН, ДСТУ) та європейськими стандартами (EN, Eurocode).

Навчити адаптувати програмне забезпечення до вимог чинних норм.

Забезпечити можливість перевірки інженерних розрахунків за допомогою реальних розрахункових комплексів (SCAD Office, LIRA-SAPR).

Навчити студентів співставляти результати автоматичного розрахунку з ручними методами та критично оцінювати адекватність розрахункової схеми.

Сприяти розумінню проблеми переходу від BIM-моделі до розрахункової схеми (формалізація правил, урахування жорсткості з'єднань, особливості інтерпретації вузлів).

Створити базу для наукових досліджень у сфері цифрових моделей конструкцій, автоматизації проєктування та інтеграції норм у програмні комплекси.

Сформувати у студентів навички, необхідні для роботи в сучасних проєктних організаціях, де використовується BIM. Підготувати їх до участі у виконанні курсових та дипломних проєктів з використанням Tekla Structures як основного інструменту.

Після вивчення курсу «Розрахунки та проєктування металевих конструкцій у Tekla Structures» студенти повинні набути конкретних знань, вмінь і компетенцій, що дозволять їм якісно виконувати проєктні та дослідницькі завдання у сучасному BIM-середовищі. Нижче - детальний перелік очікуваних результатів, сформульований у вигляді вимірюваних навчальних результатів та прикладів доказів їх досягнення.

Студент отримає теоретичні знання та знатиме:

- принципи роботи BIM-платформи і роль Tekla Structures у комплексному проєктуванні;
- розумітиме основи моделювання стержневих і пластинчатих систем, концепцію перетворення BIM - розрахункова схема;
- володітиме поняттями жорсткості та поведінки вузлів, їх впливом на розрахунок конструкцій;
- орієнтуватиметься у національних нормах та у європейських стандартах.

Докази знань: теоретичний тест, усна відповідь, конспект лекцій.

Студент отримає професійно-технічні навички та зможе:

- створювати коректну 3D-модель металевої конструкції в Tekla Structures (колони, ферми, вузли, умови опирання);
- налаштувати та використовувати локалізовані бази профілів і матеріалів (ДСТУ/EN);

- формувати розрахункові схеми з урахуванням реальної геометрії вузлів та експортувати їх у розрахункові комплекси (SCAD Office, LIRA-SAPR) або внутрішні модулі;
- моделювати жорсткість і поведінку з'єднань (болтові, зварні) та враховувати їх у розрахунках;
- генерувати робочі креслення, специфікації та перелік матеріалів зі збереженням маркування.

Докази навичок: практичні роботи (модель + креслення), експорт/імпорт файлів, специфікації.

Студент сформує аналітичні та дослідницькі компетенції, що дозволять йому:

- порівнювати результати розрахунків при різних підходах до побудови схеми (жорсткі, шарнірні та напівжорсткі вузли, спрощена та детальна модель) і робити висновки про вплив допущень;
- виконувати перевірку адекватності розрахункової схеми шляхом порівняння: Tekla - ручний розрахунок - зовнішній розрахунковий комплекс;
- проводити аналіз чутливості (вплив жорсткості вузлів, параметрів матеріалу, комбінацій навантажень) на критичні показники конструкції;
- розробляти та перевірити прості алгоритми або правила автоматичного переходу від BIM-моделі до розрахункової схеми.

Докази компетенцій: порівняльний звіт, дослідницька робота, аналіз чутливості - оцінити, наскільки сильно змінюється результат розрахунку при зміні певних вхідних параметрів (матеріалів, навантажень, жорсткості вузлів тощо).

Студент сформує проєктні та організаційні вміння, що дозволять йому:

- організовувати робочий процес у рамках BIM-проєкту: шаблони, параметри проєкту;
- готувати пакет робочої документації (вузлові креслення, загальна схема, специфікації) відповідно до вимог замовника та норм;
- вести технічну документацію по моделях (коментарі, позначення, журнал змін);
- координуватися у команді: інтегрувати частини моделі, виконувати базову перевірку просторових накладань або конфліктів між елементами моделі.

Докази вмінь: груповий проєкт, журнал змін, перевірка конфліктів між елементами моделі.

Студент сформує цифрові (BIM) компетенції, що дозволять йому:

- застосовувати Tekla як інструмент цифрового подання конструкції для подальшого моніторингу та експлуатації;
- виконувати експорт/імпорт даних, налаштовувати відповідність атрибутів і картування профілів;
- автоматизувати часті операції за допомогою шаблонів, параметричних елементів та, за потреби, базових скриптів/плагінів.

Докази: інтеграція в модель конструкції перетворюється у «універсальний опис» елементів (балок, колон, з'єднань, матеріалів тощо), який може бути прочитаний іншими програмами - ArchiCAD, Revit, LIRA-SAPR, LIRA-SAPR та ін., використання шаблонів, приклади автоматизації.

Студент сформує нормативні компетенції, що дозволять йому:

- знати, які норми й стандарти застосовуються при проєктуванні та розрахунках;
- правильно користуватися ними під час розрахунків і проєктування;
- уміти пояснити, чому саме обрано певний нормативний підхід і звідки він взятий.

Докази: захист курсового/дипломного проєкту з аргументованим вибором та застосуванням нормативних схем розрахунку під час проєктування, із перевіркою відповідності вимогам ДБН/ДСТУ.

Рівні освоєння (рекомендована градація):

- базовий рівень: створення простих моделей, генерування креслень, базове розуміння норм;

- професійний рівень: коректна побудова розрахункових схем, інтеграція з розрахунковими комплексами, моделювання вузлів;
- дослідницький/експертний рівень: формалізація правил BIM-розрахунків, проведення валідації моделей, оптимізація конструкцій.

2. Опис проблемної ситуації

Традиційна підготовка фахівців-будівельників здебільшого зосереджена на окремих етапах проєктування (розрахунків, моделювання, креслення), що ускладнює формування комплексних професійних компетентностей. Водночас сучасна практика будівництва вимагає від фахівців уміння працювати у середовищі BIM, інтегруючи 3D-моделювання, розрахунки та випуск робочої документації.

Використання Tekla Structures у навчальному процесі відкриває можливість формування у студентів системного бачення проєктного процесу: від створення цифрової моделі конструкції до її перевірки на відповідність ДБН/ДСТУ та Єврокодам. Це забезпечує наближення освітнього процесу до реальної інженерної практики та підвищує конкурентоспроможність випускників.

Завдання інтегрування BIM-орієнтованого навчання у підготовку:

- навчити студентів працювати з цифровими моделями конструкцій у Tekla Structures;
- поєднувати 3D-моделювання, автоматизовані розрахунки та підготовку креслень;
- адаптувати розрахункові схеми до національних норм (ДБН, ДСТУ) та Єврокодів;
- формувати навички перевірки розрахунків у SCAD Office, LIRA-SAPR та інших комплексах;
- навчити студентів критично оцінювати результати автоматичного розрахунку та впроваджувати BIM-технології у практику проєктування.

3. Теоретичне підґрунтя

Пояснення ключових понять теми предмету, на які спирається кейс:

- BIM (Building Information Modeling) - технологія інформаційного моделювання будівель, яка поєднує в собі 3D-моделювання, розрахунки і документацію в єдиній цифровій моделі;
- Tekla Structures - сучасна BIM-платформа для проєктування та розрахунку металевих конструкцій, створення креслень та специфікацій;
- розрахункова схема - спрощене відображення конструкції (стержні, плити, вузли), яке використовується для інженерних розрахунків;
- жорсткість і поведінка вузлів - ключові параметри, що визначають реальну роботу конструкції (шарнірні, жорсткі, напівжорсткі з'єднання);
- ДБН/ДСТУ, Єврокоди (EN) - нормативна база, за якою виконується проєктування та перевірка конструкцій;
- інтеграція з розрахунковими комплексами (SCAD Office, LIRA-SAPR) - перенесення моделі з Tekla до спеціалізованих програм для перевірки розрахунків;
- цифрова компетентність у BIM - здатність працювати з 3D-моделлю конструкцій, документувати зміни, виконувати експорт/імпорт даних і автоматизувати процеси.

Курс забезпечує зв'язок між навчальною програмою та реальними потребами сучасної будівельної індустрії. Пререквізити дисципліни - «Фізика», «Теоретична механіка», «Вища математика», «Опір матеріалів», «Будівельна механіка», «Будівельне матеріалознавство», «Металеві конструкції», «Залізобетонні і кам'яні конструкції», «Дерев'яні конструкції», «Основи теорії пружності та пластичності», «Метали та зварювання», «Основи і фундаменти».

Постреквізити дисципліни - «Комп'ютерне моделювання металевих конструкцій, будівель і споруд», «Технічна діагностика та підсилення металевих конструкцій будівель і споруд», «Технологія зведення будівель і споруд», «Проєктування металевих конструкцій будівель і споруд підвищеного рівня відповідальності».

4. Аналіз ситуації

У процесі традиційного навчання студенти часто виконують розрахунки, креслення та моделювання (у т.ч. 3D-модель конструкції на екрані ПК). Але моделювання, розрахункові схеми та розрахунки, креслення віднесені до окремих етапів, що ускладнює формування комплексних навичок (див. рис. 1). Студенти змушені окремо вчитися розрахунку, кресленню й моделюванню, і тільки потім «склеювати» це у практиці.

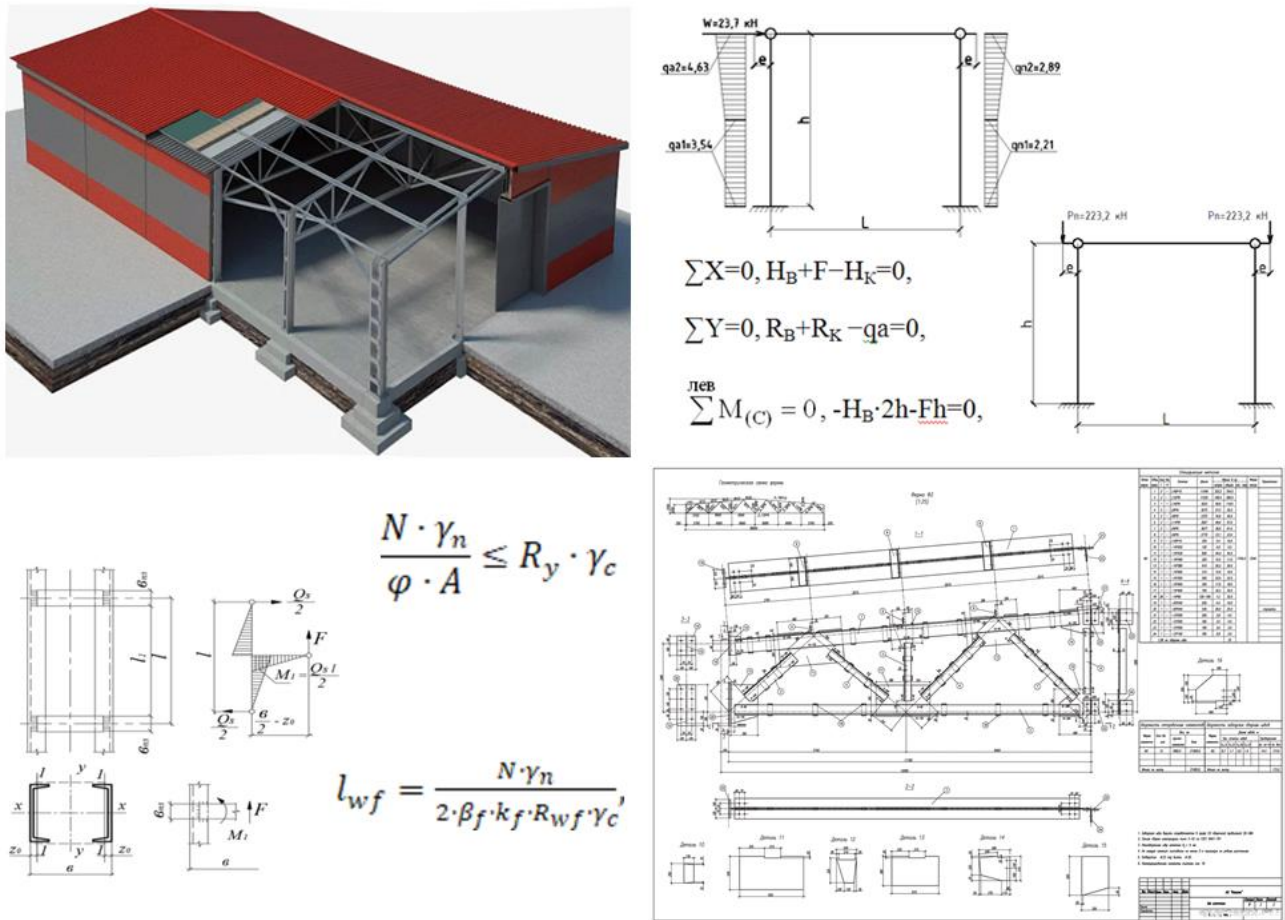


Рис. 7.1. «Традиційний» підхід: етапи розрахунку та проектування розділені

У реальних проєктних організаціях вимагається робота в середовищі BIM, де ці етапи об'єднані. Виникає питання: як забезпечити інтеграцію розрахунку та моделювання у навчальному процесі?

4.1. Основні конфігурації Tekla Structures

Почнемо з огляду основних конфігурацій Tekla Structures (Trimble) - це різні пакети можливостей, які вибирає організація в залежності від завдань [1-5]. Tekla Structures завжди працює з єдиною моделлю (BIM), але кожна конфігурація відкриває лише певний набір інструментів (див. рис. 7.2). Tekla Structures Drafter (див. рис. 4.2,а) використовується як допоміжна: обмежений доступ до моделювання; основний акцент на оформлення креслень та документів. Tekla Structures Steel Detailing (див. рис. 4.2,б) для конструкторів металевих конструкцій: створення моделей КМ, КМД; повна бібліотека сталевих профілів, вузлів та з'єднань; автоматична генерація креслень (КМ, КМД) та специфікацій. Tekla Structures Concrete Detailing (див. рис. 4.2,в) для монолітних та збірних залізобетонних конструкцій: створення моделей КЗ, КЗВ; армування елементів (ручне та автоматичне); створення креслень залізобетонних конструкцій та специфікацій арматури. Tekla Structures Engineering (див. рис. 4.2,г) для Проєктувальників: створення розрахункових схем; експорт до розрахункових комплексів (SCAD, ЛІРА, Robot, SAP2000); перевірка несучої здатності елементів прямо в Tekla. Tekla Structures Full

(All configurations) містить всі можливості (сталі, залізобетон, розрахункові моделі, управління проектом, рис. 4.2,д).

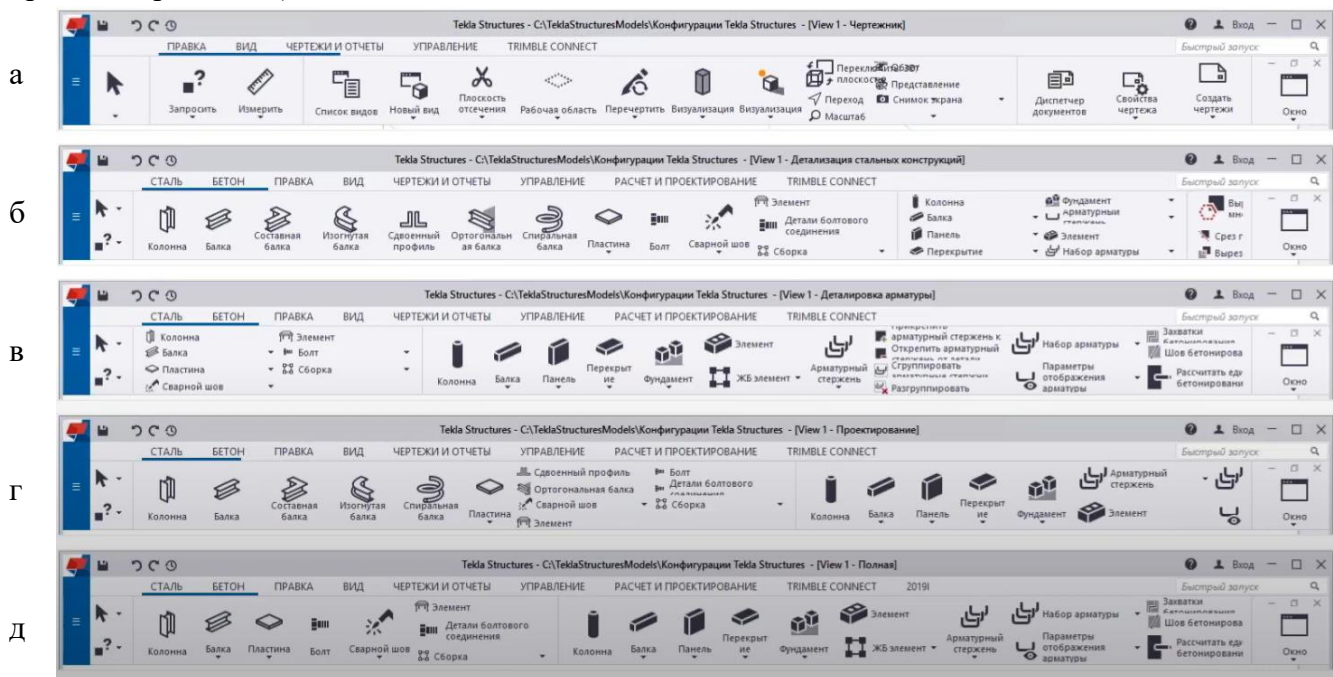


Рис. 7.2. Основні панелі інструментів для конфігурацій Tekla Structures (Trimble) [1]

Також застосовуються Tekla Structures Precast Concrete Detailing - спеціалізоване для збірного залізобетону, Tekla Structures Rebar Detailing - вузькоспеціалізована версія для арматурних креслень, Tekla Structures Project Management - для менеджерів Проєктів, Tekla Structures Contractor - для підрядників (будівельних організацій), Tekla Structures Viewer (Free) - тільки перегляд моделей формату.tekla [1-3].

4.2. Розрахунки при проектуванні металевих конструкцій у Tekla Structures

Після аналізу технічного завдання у Tekla Structures формується концептуальна модель, яка є основою для деталізації та подальшого випуску креслень КМ [2]. Виконується прийняття вихідних рішень, що включає:

- вибір матеріалів - сталі необхідних марок за нормами (ДСТУ, EN);
- прийняття технічних рішень - типи вузлів з'єднання (болтові, зварні, комбіновані), способи монтажу та сполучення;
- визначення профілів - двотаври, швелери, кутники, труби, листи та їх стандартні серії;
- задання геометрії - розміри елементів, відстані між колонами та балками, висота поверхів;
- розташування прорізів - отвори, технологічні ніші, прорізи для інженерних систем;
- інші параметри моделі - монтажні зазори, початкові прив'язки, система координат, осі.

Другий етап проектування розділу КМ у Tekla Structures - прорисовка каркасу (створюються основні елементи - колони, балки, ригелі, ферми, зв'язки, див. рис. 4.3) відповідно до осової схеми [5]. Призначення попередніх перерізів для кожного елемента, які можуть бути уточнені пізніше. Формування попередніх вузлів закладка типів з'єднань (наприклад, болтові фланцеві з'єднання, накладки, зварні стики). Організація моделі за рівнями та осями побудова в системі координат, із врахуванням прив'язки до сітки.

Далі виконуємо формування розрахункової моделі в Tekla Structures [3]:

- переходимо у вкладку «Розрахунок» - моделі розрахунку та Проектування (див. рис. 4.4);
- натискаємо «Створити», вибираємо застосунок SCAD_Tekla - експорт розрахункової моделі у SCAD Office (див. рис. 4.5).

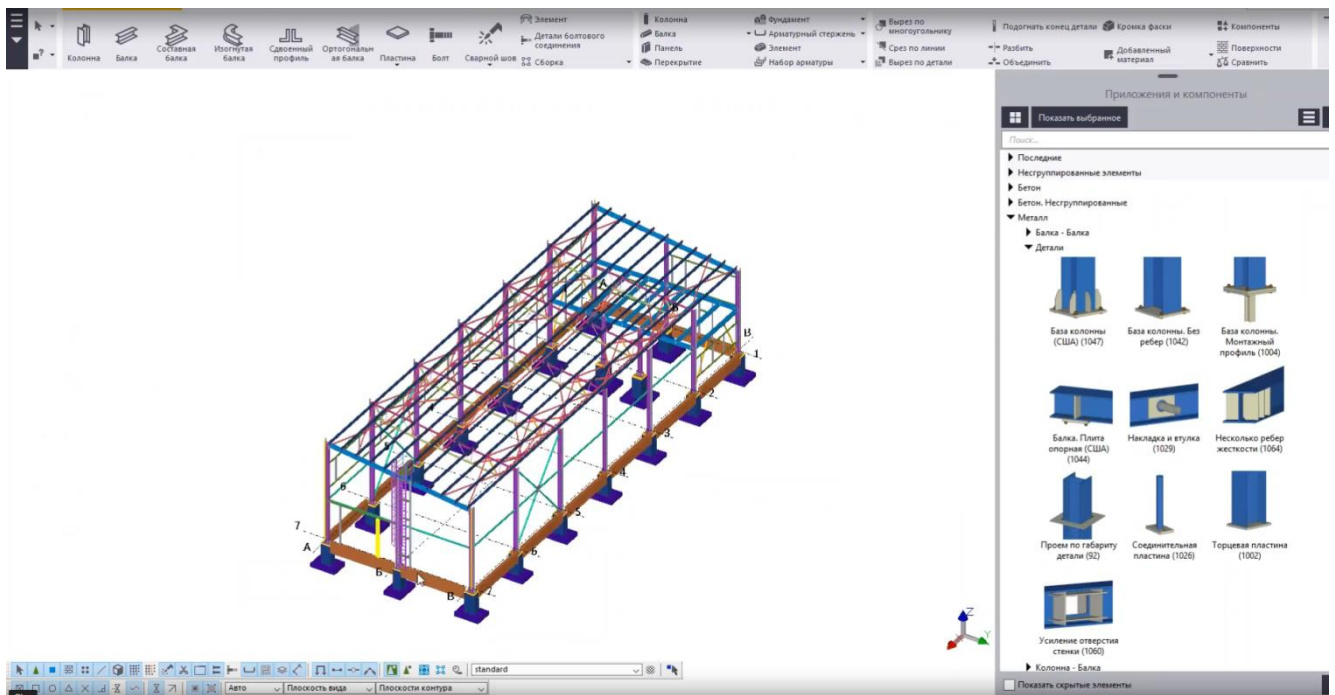


Рис. 7.3. Аналітична модель у Tekla Structures

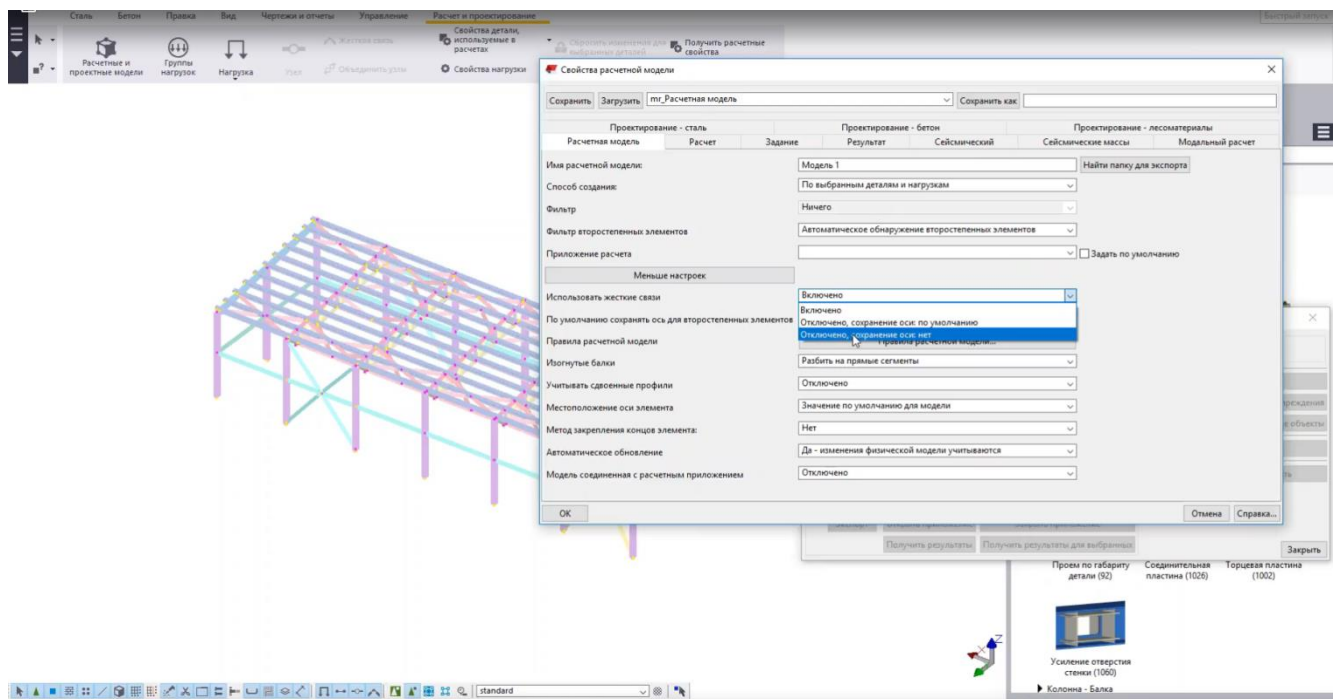


Рис. 7.4. Перехід у вкладку «Розрахунок» - моделі розрахунку та Проектування

Далі виконуємо налаштування експорту в SCAD Office. Натискаємо «Експорт», відкривається вікно експорту. Налаштовуємо типи елементів, вузли, опори, навантаження, перерізи з Tekla.

Під час роботи з розрахунковими додатками (у тому числі SCAD Office) можна організувати експорт по-різному - або експорт всієї моделі цілком, або фрагментами при розрахунку локальних вузлів, окремих балок, вильотів, фрагментів покриття або окремих рам.

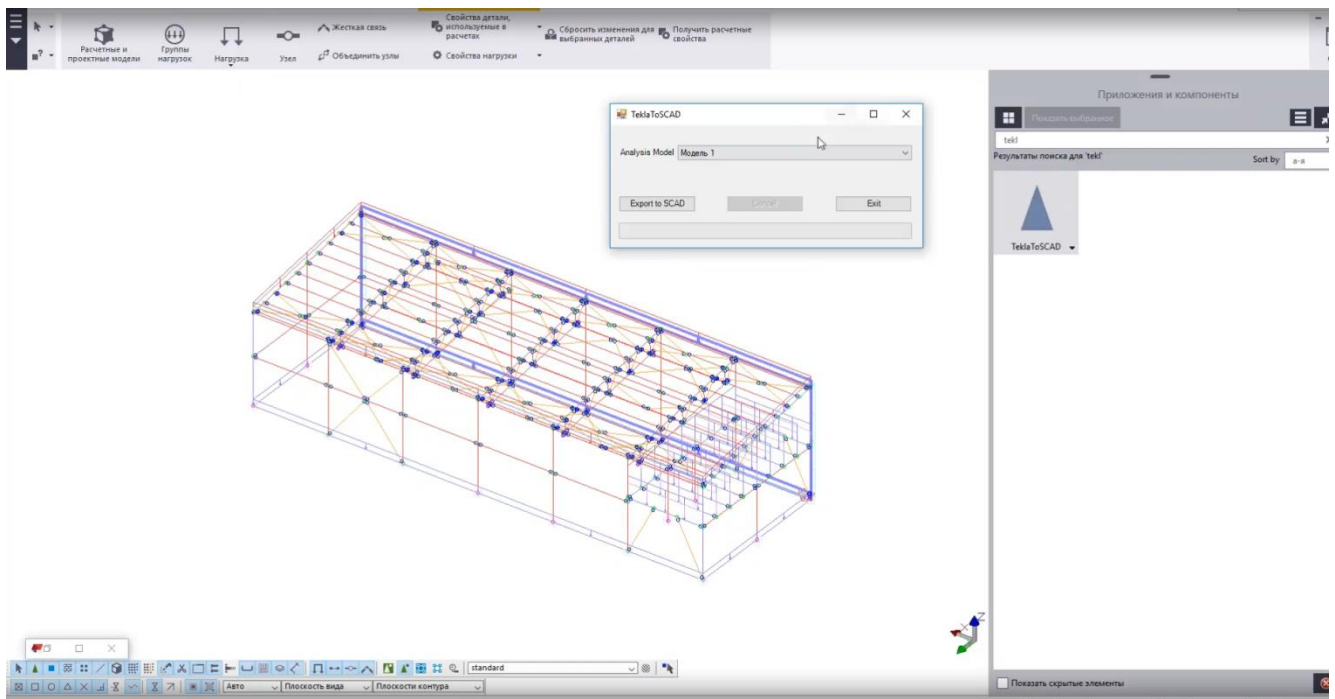


Рис. 7.5. Формування розрахункової схеми, налаштування експорту розрахункової моделі та експорт у SCAD Office

Відкриваємо розрахункову модель в SCAD Office (див. рис. 4.6) [21] та коригуємо (за необхідністю): умови закріплення, умови жорсткості та інші. Експортуємо з Tekla Structures або створюємо завантаження, їх комбінації та сполучення.

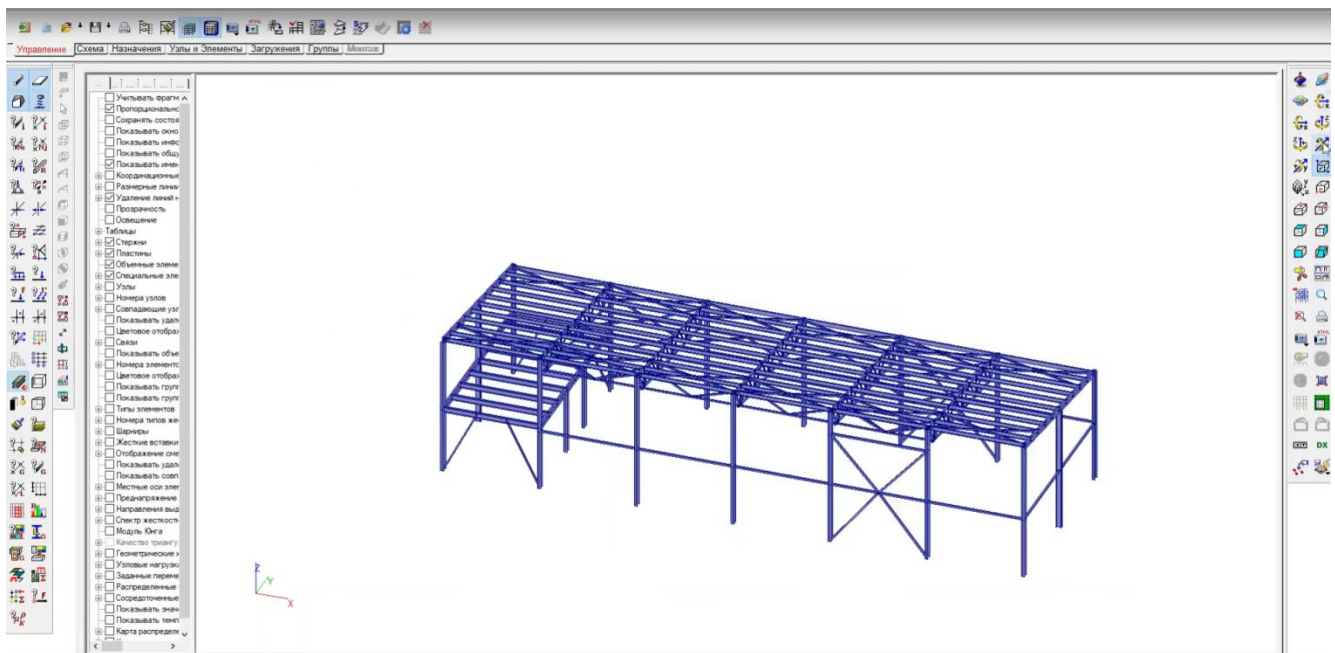


Рис. 7.6. Розрахункова модель у SCAD Office

Так, саме в Tekla Structures для експорту аналітичної або розрахункової моделі в ЛІРА-САПР [20] (як і в SCAD) використовуються спеціальні плагіни/конвертери, які забезпечують правильну передачу даних (див. рис. 7.7).

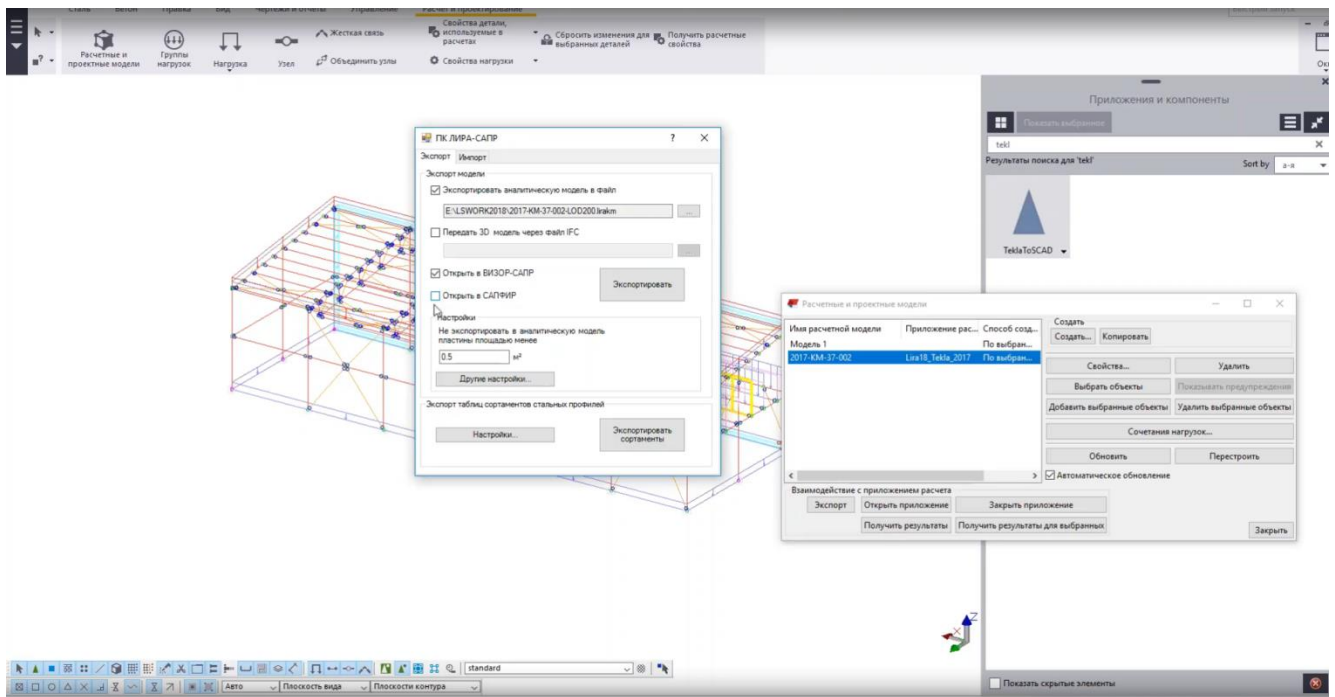


Рис. 7.7. Формування розрахункової схеми, налаштування експорту розрахункової моделі та експорт у ЛІРА-САПР (ВИЗОР-САПР для металевих конструкцій)

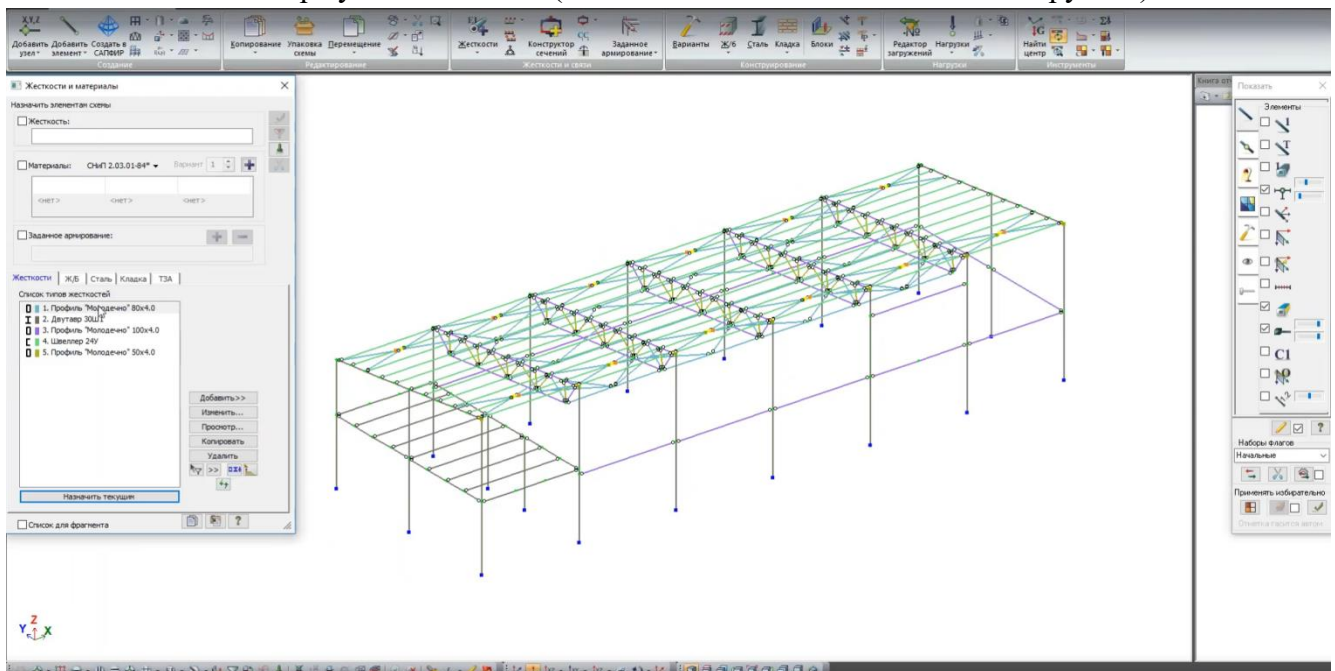


Рис. 7.8. Розрахункова модель у ЛІРА-САПР

У Tekla відкриваємо вкладку Analysis - Analysis & Design Models. Створюємо нову модель для експорту - вибираємо LIRA як додаток. Налаштовуємо опції експорту.

В Tekla існує вбудована аналітична сітка, яка є основою для статичного розрахунку. На вкладці Analysis - Load application - додаємо типи навантажень: постійні; тимчасові, особливі [2]. Формуємо групи навантажень і комбінуємо їх у розрахункові комбінації. Tekla автоматично генерує аналітичні комбінації, які потім передаються в розрахунок. Вибираємо вкладку Analysis - Run Analysis / Solve. Tekla використовує власний механізм розрахунку аналітичної моделі (метод скінченних елементів для стержневих і пластинчатих конструкцій). Після завершення розрахунку можна отримати: зусилля в елементах (N , Q , M - поздовжні, поперечні, згинальні); прогини елементів і вузлів; напруження та коефіцієнти використання перерізу. Для коректних розрахунків за національними нормами знадобляться спеціально виконані плагіни.

4.3. Створення з'єднань у Tekla Structures

Tekla Structures має вбудовану бібліотеку стандартних вузлів, яка включає: кутові та Т-подібні з'єднання; балкові та колонові вузли; вузли із фасонними елементами (пластини, лапки, шви) [5].

Переваги використання стандартних вузлів: швидке моделювання конструкцій; зменшення ризику помилок у розташуванні болтів та фасонок; відповідність міжнародним нормам (EN, ISO).

Після створення з'єднання можна переглянути модель у 3D-вікні Tekla (див. рис. 4.9):

- відобразити балкову клітку із усіма вузлами;
- перевірити правильність розташування фасонок, болтів та швів;
- виконати перевірку колізій і відстаней між елементами.

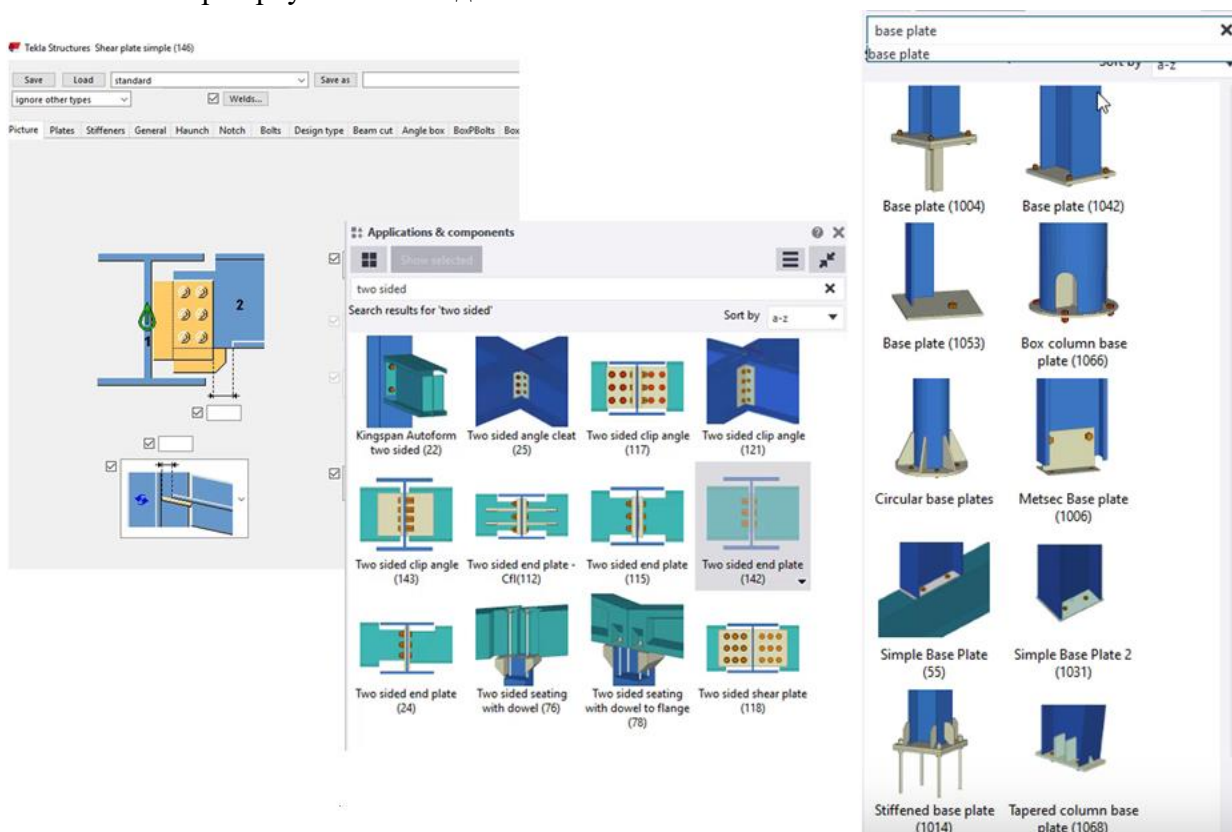


Рис. 7.9. Моделювати з'єднання за допомогою системних компонентів у Tekla Structures

Фасонки (пластини, лапки) додаються у вузли для забезпечення міцності і жорсткості з'єднання.

Процес налаштування:

- вибрати вузол у моделі;
- відкрити властивості вузла (Node Properties);
- додати фасонку з бібліотеки або створити власну;
- вказати товщину, матеріал та розміри пластини;
- встановити розташування фасонок відносно балок та колон.

Болти використовуються для з'єднання елементів без зварювання.

Налаштування болтів у вузлах:

- вибрати тип болта (наприклад, з високою міцністю, клас 8.8, 10.9 тощо);
- вказати діаметр та довжину болта;
- вибрати схему розташування (ряди, групи, симетрично);
- встановити відстань між болтами та від країв елементів;
- Tekla автоматично відобразить болти у 3D-моделі та на кресленнях.

Зварні шви використовуються для нероз'ємних з'єднань.

Процес налаштування :

- вибрати тип шва (кутовий, стиковий, тавровий);
- вказати довжину та розташування шва;
- вказати параметри зварювання (наприклад, клас електрода, товщину шва);
- Tekla автоматично відобразить шви на 3D-моделі та кресленнях.

4.4. Створення креслень у Tekla Structures

Tekla Structures дозволяє автоматично створювати робочі креслення металевих конструкцій (КМ) та деталі монтажу (КМД) на основі 3D-моделі. У моделі виділяємо необхідну конструкцію або окремий елемент (колону, балку, ферму). Через меню Create Drawing - Assembly / Part автоматично формується монтажне креслення. Assembly Drawing - креслення вузла або збірки (наприклад, колона з балками). Single Part Drawing - креслення окремої деталі для виготовлення (пластини, болти, балки) [5].

Креслення отримує інформацію про матеріали, розміри, геометрію та розташування елементів з 3D-моделі.

В Tekla можна автоматично або вручну створювати фронтальні, планові, ізометричні та детальні види конструкції. Види можуть бути масштабовані для кращого читання. Додаються основні та допоміжні точки зору (Section View, Elevation).

Виноски (Annotations) автоматично показують:

- номери елементів;
- довжини, ширини, товщини;
- матеріали, болтові з'єднання;
- позиції та маркування елементів згідно зі специфікаціями.
- Tekla формує специфікації (Parts List / BOM) - таблиці матеріалів з деталізацією:
- кількість деталей;
- довжина, тип профілю;
- матеріал та марка сталі;
- вага елемента.

Ці специфікації автоматично підключаються до креслення (див. рис. 4.10).

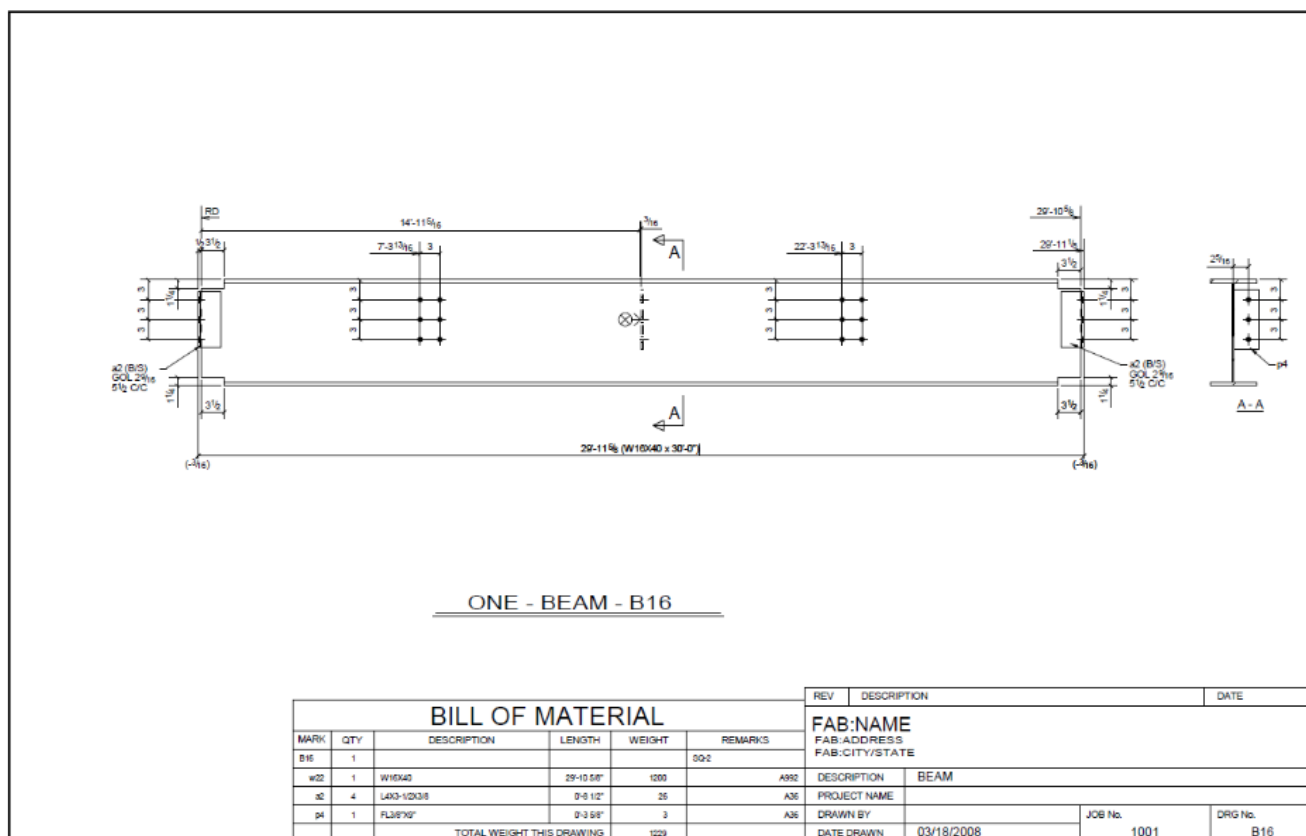


Рис. 7.10. Приклад креслення балки, яке автоматично сформоване Tekla Structures:

Переваги автоматичного формування креслень у Tekla:

- зменшується кількість помилок у кресленнях завдяки синхронізації з 3D-моделлю;
- прискорюється процес проєктування та підготовки документації;
- легко оновлювати креслення при зміні моделі - усі виноски, види та специфікації автоматично оновлюються.

4.5. Середовище «Україна» для Tekla Structures

Для отримання Проєктної документації щодо вимог національних норм необхідно застосувати середовище «Україна» [4]:

- набір каталогів, шаблонів та налаштувань для Tekla Structures;
- працює відповідно до українських стандартів та норм;
- підходить для розділів Проєкту: КМ, КМД, КБ, КБВ.

Для сталевих конструкцій передбачені сталі за стандартами ДСТУ, ГОСТ, (див. рис. 4.11).

Каталоги сталей

- актуальний сортамент сталей;
- можливість додавати свої сталі в каталог;

№	Найменування
1	C235, C245, C255, C345-3
2	Ст.20
3	09Г2С

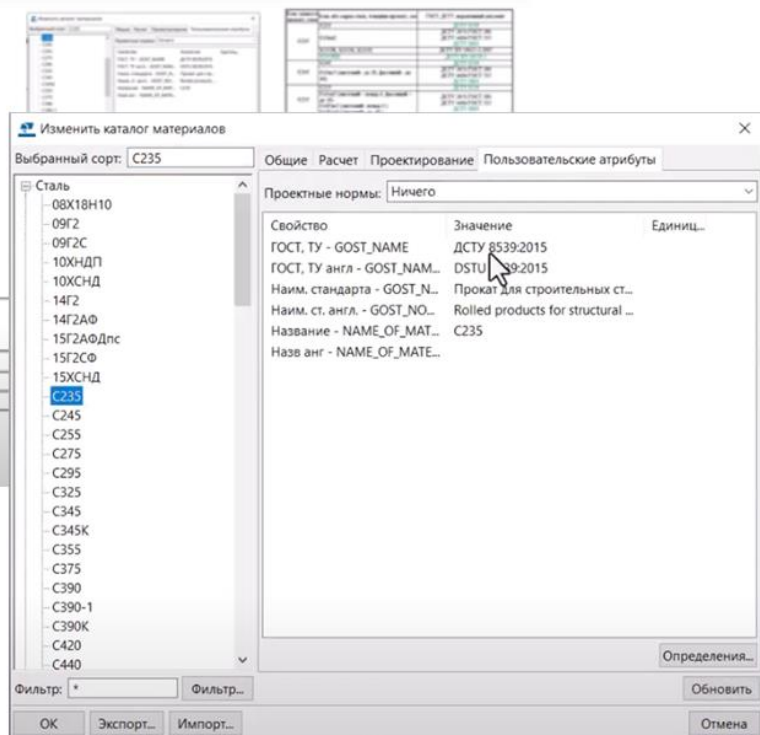


Рис. 7.11. Каталоги та матеріали, середовище «Україна»

Каталоги профілів у середовище «Україна» (див. рис. 7.12):

- двотаври,
- швелери,
- кутики (рівнополичні та нерівнополичні),
- труби (круглі, квадратні, прямокутні),
- рельси для кранів та залізниць та інш..

Також є каталоги на болти, гайки, шайби (див. рис. 4.13).

Передбачено відображення на кресленнях специфікацій, які автоматично формуються - стовпчик «Група конструкцій» для класифікації.

(див. рис. 4.14). Також передбачені каталоги для залізобетонних конструкцій, можливість додавати власні сорти бетону, специфікації арматури та закладних елементів.

Каталоги профілів

- актуальний сортамент профілів;
- можливість додавати свої профілі в каталог;

№	Найменування	ДСТУ
1	Двутаври сталеві гарячекатані	ДСТУ 8768:2018
2	Швелери сталеві гарячекатані	ДСТУ 3436-96
3	Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні	ДСТУ 2251:2018
4	Кутики сталеві гарячекатані нерівнополичні	ДСТУ 8768:2018
5	Двутаври гарячекатані для навісних дахів	ДСТУ 8806:2018
6	Труби сталеві електроварні прокатні	ГОСТ 30754-95
7	Труби сталеві безшовні прокатні	ГОСТ 8732-78
8	Прокат круглий	ДСТУ 4388:2007
9	Прокат квадратний	ДСТУ 4340:2007
10	Швелери сталеві прокатні	ДСТУ 8806:2018
11	Кутики сталеві прокатні	ДСТУ 2251-95
12	Профіль сталеві прокатні	ДСТУ 8768:2018
13	Прокат сталеві гарячекатані холоднокатані	ДСТУ 4388:2007
14	Рельси кранові	ДСТУ 2486-94
15	Рельси для залізничних доріг колійної ширини стандартної системи з параметрами стандарту	ДСТУ 4388:2008
16	Рельси металеві дорожні типу Р60 для колійної ширини стандартної системи з параметрами стандарту	ДСТУ 2508-94
17	Труби сталеві профільні	ДСТУ 8806:2018
18	Вироби з сталевих профілів (з зазначеною документацією) для конструкцій	ДСТУ 8806:2018

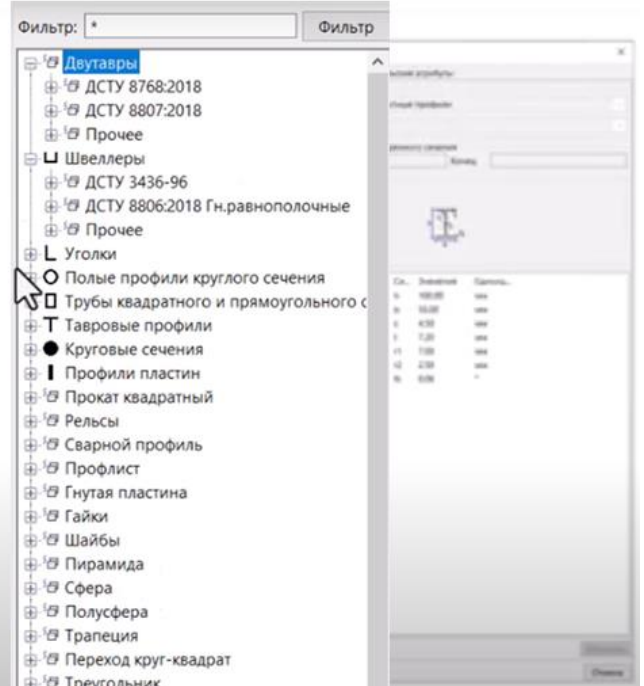
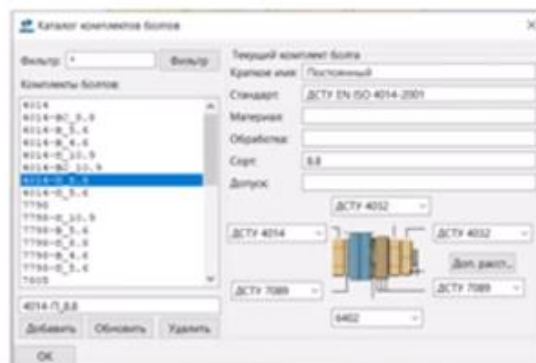


Рис. 7.12. Каталоги профілів, середовище «Україна»

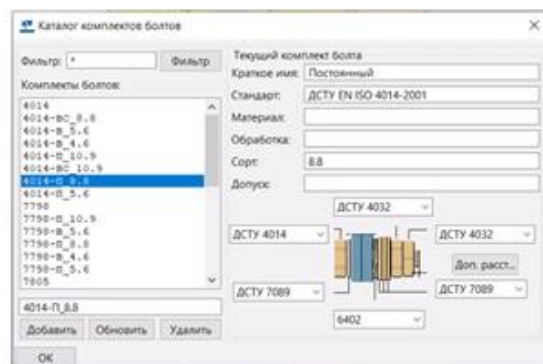
Каталоги болтів

- актуальний сортамент;
- можливість додавати свої болти, гайки, шайби і каталогів болтів;
- кольорове відображення болтів по типу високоміцні заводські, високоміцні монтажні, прості заводські, прості монтажні
- відображення символів болтів на кресленнях



Каталоги болтів

- актуальний сортамент;
- можливість додавати свої болти, гайки, шайби і каталогів болтів;
- кольорове відображення болтів по типу високоміцні заводські, високоміцні монтажні, прості заводські, прості монтажні
- відображення символів болтів на кресленнях



№	Комплект болтів	Болти	Гайки	Шайби	Клас міцності
1	Тимчасові	DSTU EN ISO 4014-2001	DSTU ISO 4032-2002	DSTU EN ISO 7089-2022	4.6 5.6
2	Постійні				5.6 8.8 10.9
3	Високоміцні	GOST 22356-77	GOST 22356-77	GOST 22356-77	8.8 10.9

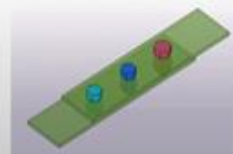


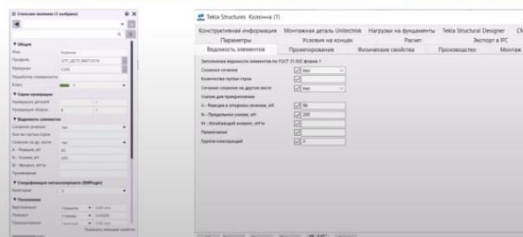
Рис. 7.13. Каталоги болтів, середовище «Україна»

Відомості і специфікації по розділу КМ.

Відомість елементів

- відомість елементів взята із середовища «GOST» і в неї добавлений стовпчик група конструкцій,
- дані для відомості елементів заповнюються в головній деталі збірки,
- значення для заповнення стовпчика «Група конструкцій» вносяться через «Пользовательские атрибуты» на закладці відомість елементів

Марка елемента	Переріз			Зусилля для прикріплення			Група констр.	Найменування або марка металу	Примітка
	ескіз	поз.	склад	A, кН	N, кН	M, кН·м			
КС-1		1 — 10x500 2 — 14x200		458	253	243	2	C255	
ОС-1		1 Ø50x4 2 Ø60x4					5	C255	
П-2	—	— 10x100						C245	
Б-23	—	— 10x50		125	53	89		C245	
Б-21	T	T 136T1		80	160	30	3	C245	
К-5	I	I 20Ca		90	60	50		C245	
Б-7	C	C 26C		250	85	150		C255	



Група конструкцій

☒ 2

Відомості і специфікації по розділу КМ. Специфікація металопрокату

- СМ – створюється за допомогою плагіна «SMPlugin2UA»,
- дані для специфікації металопрокату заповнюються в налаштуваннях проекту і властивостях головної деталі збірки,
- СМ виноситься на креслення одним кліком і експортуються автоматично в Excel

Специфікація металопрокату												
Найменування прокату ЗЛТУ, ТУ	Розміщення або марка металу ЗЛТУ, ТУ	Номер або позначка прокату	№ ст.	Різак металу зі збільшеним контролем, кг								Залишок НДЗ, кг
				Канали	Шари	Фабрики	Позови	Позови	Позови	Позови	Позови	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	Полоса 1000	1					231			231	
			2									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	3					231			231	
			4					231			231	
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	5	100-24							100-24	
			6									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	7	100-24							100-24	
			8	100-24							100-24	
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	9	254-42							254-42	
			10	254-42							254-42	
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	11	699-72							699-72	
			12	699-72							699-72	
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	13									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	14									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	15									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	16									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	17									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	18									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	19									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	20									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	21									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	22									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	23									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	24									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	25									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	26									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	27									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	28									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	29									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	30									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	31									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	32									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	33									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	34									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	35									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	36									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	37									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	38									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	39									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	40									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	41									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	42									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	43									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	44									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	45									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	46									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	47									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	48									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	49									
Прокат сталевий, довжина загальна, позначка ЗЛТУ 4574-2007	1245 ЗЛТУ 4574-2007	1000	50									

КМ і КМД

еня для

1_KMD_Vidomist_metaloprocutu_Metizy_motazhni_na_proekt

Креслення розділів КМ і КМД

- додані налаштування креслень для розділів КМ, КМД
- основні надписи на кресленнях на Українській мові

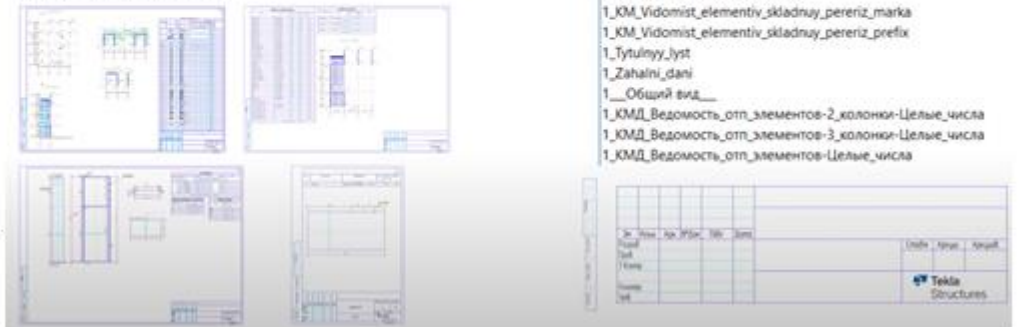


Рис. 7.14. Специфікації, середовище «Україна»

5. Питання для обговорення

1. У чому полягають головні переваги використання BIM-платформ порівняно з традиційним 2D-проектуванням?
2. Як Tekla Structures інтегрується в загальний цикл проектування будівлі?
3. Чому важливо поєднувати 3D-моделювання, розрахунок і випуск креслень в єдиному середовищі?
4. Як правильно виконати перехід від BIM-моделі до розрахункової схеми? Які типові помилки виникають?
5. Які програмні комплекси для проектування металевих конструкцій ви вже використовували?
6. Чим відрізняється традиційне проектування (AutoCAD, ручні методи) від BIM-підходу?
7. Які очікування від роботи з Tekla Structures у порівнянні з іншими САПР?
8. Чому критично важливо враховувати жорсткість вузлів при розрахунку?
9. Які відмінності між автоматично згенерованою схемою та ручною спрощеною моделлю?
10. У яких випадках доцільно проводити паралельну перевірку результатів Tekla у SCAD Office або ЛІРА-САПР?
11. Як забезпечується відповідність моделей Tekla національним нормам (ДБН, ДСТУ) та європейським (Eurocode)?
12. Чи можна адаптувати локальні бази профілів і матеріалів під вимоги чинних норм?
13. Які переваги має порівняння результатів розрахунку за ДБН і за Єврокодами?

14. Які кроки необхідно виконати для побудови базової 3D-моделі сталевого каркаса в Tekla?
15. Як Tekla допомагає автоматизувати рутинні операції (маркування, специфікації, шаблони креслень)?
16. Які інструменти Tekla найзручніші для створення робочої документації?
17. Як можна оцінити адекватність розрахункової схеми?
18. У чому полягає користь аналізу чутливості моделі до змін параметрів?
19. Які приклади наукових досліджень можуть базуватись на цифрових моделях Tekla?
20. Як організувати групову роботу над однією BIM-моделлю?
21. Які інструменти Tekla допомагають уникати конфліктів між різними частинами моделі?
22. Як правильно вести «журнал змін» у проєктній документації?
23. Як експорт Tekla у формати IFC чи для SCAD/LIRA може забезпечити міжпрограмну взаємодію?
24. Чи достатньо студенту просто знати норму, чи важливіше розуміти логіку її застосування?
25. Як підготуватися до захисту проєкту з аргументованим використанням норм і стандартів?
26. Чи потрібен студенту глибокий ручний розрахунок, якщо Tekla вже автоматизує більшість задач?
27. Як інтегрувати Tekla з іншими розрахунковими комплексами (SCAD, ЛІРА-САПР)?
28. Чи може BIM повністю замінити традиційний підхід у курсових та дипломних роботах?
29. Які навички важливіші для майбутнього інженера: вміння креслити чи вміння працювати з цифровою моделлю?

6. Можливі напрямки вирішення

Інтеграція Tekla Structures у навчальні програми:

- включення спеціальних курсів і практикумів з BIM-технологій у підготовку студентів;
- використання Tekla як базового інструменту при виконанні курсових і дипломних проєктів.

Розробка методичних матеріалів:

- створення покрокових інструкцій для студентів;
- підготовка відеоуроків та навчальних прикладів з моделювання та розрахунків;
- формування локалізованих баз профілів і матеріалів (ДБН/EN).

Практична інтеграція розрахунків:

- використання експорту моделей у SCAD Office, ЛІРА-САПР для перевірки результатів;
- зіставлення автоматичних розрахунків Tekla з ручними методами;
- виконання аналізу чутливості параметрів (жорсткість вузлів, навантаження, матеріали).

Організація командної роботи:

- формування навичок роботи у спільній BIM-моделі;
- навчання студентів координації між різними спеціальностями (конструктори, архітектори, інженери);
- відпрацювання практики ведення «журналу змін» та управління версіями моделей.

Науково-дослідна діяльність:

- розвиток напрямків дослідження у сфері автоматизації проєктування;
- перевірка нових алгоритмів автоматичного формування розрахункових схем;
- пошук способів інтеграції норм ДБН та Єврокодів у цифрові середовища.

Цифровізація експлуатації

- використання моделей Tekla для подальшого моніторингу будівель;
- навчання студентів роботі з IFC та обміном даними між різними BIM-платформами;
- формування навичок цифрового супроводу об'єктів на етапі експлуатації.

7. Рішення (приклад)

Використання Tekla Structures для проектування металевого каркаса навчального об'єкта (наприклад, однопрольотної виробничої будівлі або робочої площадки).

Поєднання з розрахунковими комплексами (SCAD Office, ЛІРА-САПР) для перевірки коректності аналітичної моделі та розрахунків.

Tekla забезпечує комплексний BIM-підхід : від 3D-моделі до розрахунків та далі до робочих креслень.

Студенти одночасно формують моделювальні, розрахункові та графічні компетенції, що відповідає сучасним вимогам.

Використання розрахункових комплексів гарантує, що студенти не лише «натискають кнопки», а й розуміють фізику процесів і перевіряють результати.

8. Практичне завдання для студентів

Змодельовати каркас металеві будівлі робочої площадки (колони, балки, вузли) у Tekla Structures (див. рис. 8.1).

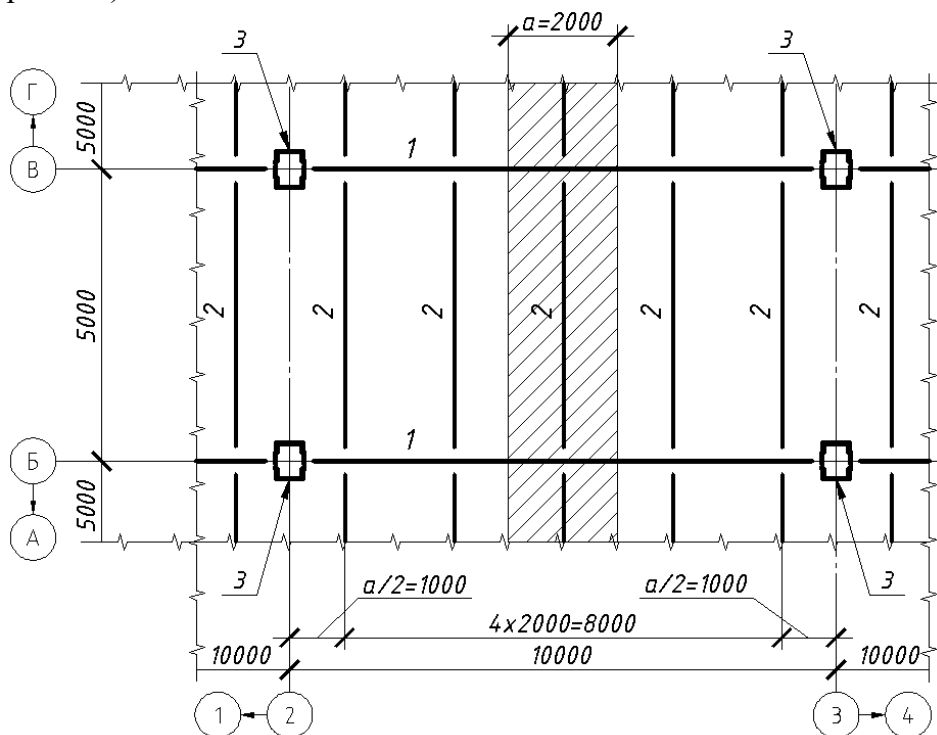


Рис. 7.1. Схема розрахункової частини робочої площадки:

1 – головна балка; 2 – балка настилу; 3 – колона

Призначити матеріали відповідно до [6-8,14,15].

Сформувати розрахункову схему у Tekla Structures та експортувати її у SCAD Office.

Виконати збір навантажень згідно [11].

Виконати статичний розрахунок, отримати внутрішні зусилля та прогини.

Підібрати перерізи відповідно до результатів розрахунку згідно [6]:

- балки настилу;
- головної балки;
- центро-стиснутої наскрізної колони.

Виконати розрахунки вузлів та з'єднань згідно [6].

Згенерувати креслення елементів (балки настилу; головної балки; центро-стиснутої наскрізної колони).

Формулювання завдання у вигляді кейсу: «Проектування каркаса робочої площадки з використанням Tekla Structures та SCAD Office»

Необхідно спроектувати робочу площадку на рис. 8.1. Компоновку каркасу виконати для таких вихідних даних до проектування:

- крок колон у поперечному напрямку – ____ м;
- крок колон у поздовжньому напрямку – ____ м;
- відмітка верху настилу площадки – ____ м;
- експлуатаційне тимчасове навантаження на площадку – ____ кПа;
- тип настилу – залізобетонна плита (монолітна) або металевий настил (рифлений лист).

Інструкції для індивідуальної роботи

Побудувати 3D-модель каркаса у Tekla.

Виконати статичний розрахунок у SCAD-office.

Обґрунтувати вибір перерізів колон та балок.

Підготувати креслення елементів (балки настилу; головної балки; центрально-стиснутої наскрізної колони) та специфікацію матеріалів.

Студент виконує повний цикл самостійно, але обсяг завдання зменшується (наприклад, модель однієї рами, а не всього каркаса). Результат: модель + розрахунок + креслення одного елемента.

Інструкції для групової роботи. Розподіл ролей у групі:

фахівець-моделювальник - створює модель у Tekla;

фахівець із розрахунку - формує розрахункову схему й виконує розрахунок у SCAD-office;

конструктор - оформлює креслення та специфікації;

аналітик - готує звіт і порівнює результати Tekla, SCAD-office та ручних розрахунків.

Підсумком має стати єдиний звіт + презентація результатів.

9. Обговорення та рефлексія

Використання Tekla Structures як BIM-платформи дозволяє студентам не лише засвоїти інструментарій моделювання і розрахунків, а й критично осмислити підхід до сучасного проектування. Важливо обговорити, як змінюється роль інженера у цифровому середовищі, які компетенції стають ключовими, та які виклики постають під час інтеграції національних і міжнародних норм у практику.

Запитання для дискусії в аудиторії.

1. Чим відрізняється традиційне проектування від BIM-орієнтованого підходу?
2. Які труднощі виникають при переході від BIM-моделі до розрахункової схеми?
3. Як на практиці перевіряти адекватність автоматизованого розрахунку?
4. Чи завжди результати, отримані в програмі, можна приймати без додаткових перевірок?
5. Яку роль відіграють норми (ДБН, ДСТУ, Єврокоди) у роботі з цифровими моделями?
6. Принципи переходу від цифрової моделі до розрахункової схеми можна застосувати і до залізобетонних конструкцій.
7. Досвід перевірки результатів автоматизованого розрахунку корисний при роботі з іншими програмними комплексами (SCAD, LIRA-SAPR, Robot).
8. Практика інтеграції нормативних вимог у модель може бути використана у темах, що стосуються проектування фундаментів, мостів чи спеціальних споруд.
9. Навички командної роботи у BIM-середовищі легко масштабуються на міждисциплінарні проекти (архітектура + конструкції + інженерні мережі).

10. Висновки викладача

Чи дозволить застосування кейсу з використанням Tekla Structures у навчальному процесі студентам на практиці засвоїти ключові етапи сучасного проектування металевих конструкцій: від побудови 3D-моделі до перевірки розрахункових схем відповідно до ДБН/ДСТУ та Єврокодів?

Робота з кейсом продемонструвала значення інтеграції BIM-підходів у професійну діяльність і сприяла розвитку навичок критичного аналізу розрахунків?

Список використаних джерел

1. Tekla Structures User Assistance. Trimble Solutions Corporation. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.tekla.com/ru/solutions/tekla-structures>, дата звернення: 17.09.2025.
2. Tekla Structures. Базовий онлайн-курс. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://sapr-art.by/tekla>, дата звернення: 17.09.2025.
3. Системний курс вивчення Tekla Structures. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://topengineer.ru/education-centr/book/book>, дата звернення: 17.09.2025.
4. Tekla Structures 2023. New features and improvements: Ukraine environment [Електронний ресурс] // Trimble Solutions Corporation. – 2023. – Режим доступу: https://support.tekla.com/doc/tekla-structures/2023/rel_2023_sp4_new_features_and_improvements (дата звернення: 17.09.2025). Деталізація сталевих конструкцій з Tekla Structures. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.tekla.com/ru/решения/детализация-стальных-конструкций>, дата звернення: 17.09.2025.
5. ДБН В.2.6-198:2014. *Сталеві конструкції. Норми Проектування*. - К.: Мінрегіон України, 2014. - 199 с.
6. ДБН В.2.6-98:2009. *Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення*. - К.: Мінрегіон України, 2009. - 71 с.
7. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. *Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила Проектування*. - К.: Мінрегіон України, 2010. - 118 с.
8. ДБН В.2.1-10:2018. *Основи та фундаменти. Основні положення Проектування*. - К.: Мінрегіон України, 2018. - 36 с.
9. ДБН В.2.6-162:2010. *Кам'яні та армокам'яні конструкції. Основні положення*. - К.: Мінрегіон України, 2010. - 97 с.
10. ДБН В.1.2-2:2006. *Навантаження і впливи (із змінами №1 від 01.10.2007 р. та №2 від 01.06.2020 р.)*. - К.: Мінбуд України, 2006. - 60 с.
11. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. *Прогини та переміщення*. - К.: Мінбуд України, 2006. - 10 с.
12. ДСТУ Б В.2.6-193:2010. *Захист металевих конструкцій від корозії*. - К.: Мінрегіон України, 2013. - 70 с.
13. ДБН В.1.2-14:2018. *Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд*. - К.: Мінрегіон України, 2018. - 30 с.
14. ДСТУ 8855:2019. *Визначення класу наслідків (відповідальності) будівель та споруд*. - К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. - 29 с.
15. ДБН В.1.1-12:2014 (із зміною №1 від 01.05.2019 р.). *Будівництво у сейсмічних районах України*. - К.: Мінрегіон України, 2014. - 110 с.
16. EN 1991: Eurocode 1: Actions on structures. - Brussels, 2002.

Рекомендована для самостійного вивчення

18. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling*. 3rd ed. - Hoboken: John Wiley & Sons, 2018.
19. Tekla Online Learning Center. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.tekla.com/learning>, дата звернення: 17.09.2025.

20. Ромашкина М.А., Титок В.П. *Програмний комплекс ЛІРА-САПР. Посібник користувача. Навчальні приклади.* — М.: Ліра-САПР, 2018. — 254 с. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://rflira.ru/files/lira-sapr/Book_LIRA_SAPR_2018.pdf, дата звернення: 17.09.2025.
21. Карпіловський В.С., Криксунов Е.З., Микитенко М.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Федоровський В.Г. *SCAD Office. Реалізація СНиП у проєктувальних програмах.* — К.: ВПП «Компас», 2001. — 215 с. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://lidersmsk.ru/media/documents/ed/ed217bddd48b3d1748fb800b21b60538.pdf>, дата звернення: 17.09.2025.