

ВІТЧИЗНЯНІ ПРОГРАМНІ КОМПЛЕКСИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ І ПРОЄКТУВАННЯ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

Вербицький К.І. ДМ-51-22

*Науковий керівник: к.т.н., доц. кафедри МКБМ Бережна К.В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Проектування - це формалізована, структурована діяльність, ітераційний процес створення образу об'єкта, розписаний поетапно. Він починається з формулювання технічного завдання, проведення певних досліджень, щоб отримати розуміння якими шляхами рухатись, і обґрунтування тих чи інших шляхів для подальшої проробки. На кожному кроці мають залишатися описані певні результати, щоб кожний хто потім буде проходити ці етапи дослідження, щоб він міг зрозуміти, чому ми обираємо ті чи інші шляхи. Результати досліджень вносяться в технічний звіт.

Моделювання - це процес створення та дослідження моделі, як форми наукового пізнання, експериментального вивчення технологічних процесів за критеріями подібності. Частіше за все під моделюванням розуміють створення та дослідження математичної або об'ємної моделі в різних програмних комплексах, тоді як під проектуванням розуміють процес створення конструкції, якою будуть користуватись люди, і від якої можуть залежати їх життя. І тому будь яка помилка в будівельній галузі на проектуванні, може повністю перекивати витрати на програмні комплекси розрахунку і моделювання будівель та споруд.

Вся історія будівельної механіки в докомп'ютерний період була пов'язана з розробкою прийомів, орієнтованих на чисельну реалізацію тієї або іншої розрахункової схеми. Методи моментних і кутових фокусних відношень, метод Кроса, метод перерозподілу початкових кутових деформацій, метод пружного центру та інші прийоми – ось невеликий перелік з величезного ряду прийомів, що існували у той час, і методів розрахунку конструкцій, які, по суті, зводилися до прагнення уникнути великої кількості

обчислень. І коли фахівець складав розрахункову схему, він перш за все думав про можливість вирішення задачі в такій постановці. Положення докорінно змінилося з появою ЕОМ і методу скінченних елементів.

Метод скінченних елементів (МСЕ) – це чисельний метод вирішення задач прикладної фізики. Ключова ідея методу при аналізі поведінки конструкцій полягає в наступному: суцільне середовище (конструкція в цілому) моделюється шляхом розбиття її на області (скінченні елементи), в кожній з яких поведінка середовища описується за допомогою окремого набору вибраних функцій, що представляють напруження і переміщення у вказаній області. Ці набори функцій часто задаються в такій формі, щоб задовольняти умовам неперервності описуваних ними характеристик у всьому середовищі.

Основні переваги МСЕ:

- легка алгоритмізація при використанні обчислювальної техніки;
- просте формування систем лінійних рівнянь;
- можливість розрахунку неоднорідних і складних конструкцій за різних умов навантаження;
- широкий спектр розв'язуваних завдань.

Недоліки МСЕ:

- значний об'єм розрахунків;
- відсутність аналітичного розв'язку (необхідність повного розрахунку схеми для оцінки локального НДС);
- необхідність оцінки точності результатів розрахунку.

МСЕ в своєму розвитку пройшов через ряд безперервних модифікацій. Були сформульовані спеціальні елементи для плоского напруженого стану, введені скінчено-елементні співвідношення для деформівного твердого тіла, пластин, що згинаються, тонких оболонок та інших конструктивних форм. Багато видатних науковців працювали над задачами МСЕ, такі як Городецький Олександр Сергійович, Шмуклер Валерій Самуїлович, Лантух-Лященко Альберт Іванович.

- ЛІРА-САПР. ЛІРА-САПР реалізує технологію інформаційного моделювання будинків (ВІМ) і орієнтована на проектування і розрахунок будівельних конструкцій. Розрахунок проводиться на різні види динамічних впливів: сейсміка, вітер з урахуванням пульсації, вібраційні навантаження, імпульс, удар, відповідь-спектр, сейсміка на основі акселерограми. Дозволяє по зусиллям в перерізі, знайденим в процесі рішення задачі визначити головні та еквівалентні напруження і здійснити перевірку за різними теоріями міцності: найбільші головні напруження, найбільші головні деформації, найбільші дотичні напруження, енергетична теорія Губера-Мізеса-Генки, теорії Мора, Друкера-Прагера, Писаренко-Лебедева, Кулона-Мора, Боткіна, Генієва. Розвинена бібліотека скінченних елементів дозволяє створювати комп'ютерні моделі практично будь-яких конструкцій: плоских і просторових рам, балок стінок, згинальних плит, оболонок, масивних тіл, а також комбінованих систем - плит і оболонок підпертих ребрами, плит на ґрунтовій основі, каркасних конструкцій будівель, системи "надземна будова - фундаментні конструкції - ґрунтова основа" та багато інших. Великий набір спеціальних скінченних елементів, що дозволяють скласти адекватні комп'ютерні моделі для складних і неординарних споруд. Наприклад: скінченний елемент, що моделює податливість вузлів; скінченний елемент, що моделює роботу ґрунту за межами конструкції; скінченний елемент, що моделює натягувальний пристрій (форкопф) і який дозволяє забезпечувати задане первинне натягнення конструкції або знаходити необхідне натягнення, що забезпечує задану геометрію (наприклад, тенту або вантової сіті). Модулі врахування геометричної нелінійності, що дозволяють розраховувати, як конструкції від самого початку геометрично незмінні (гнучкі плити та балки, гнучкі ферми та ін.), так і конструкції спочатку геометрично змінні, для розрахунку яких необхідно спочатку визначити рівноважну форму під заданий вид навантаження (окремі канати, вантові ферми, вантові покриття, тенти, мембрани та ін.).

- **МОНОМАХ-САПР.** МОНОМАХ-САПР призначений для розрахунку та проектування конструкцій будівель із монолітного залізобетону житлових та громадських багатоповерхових будівель, а також будівель із цегляними стінами. У процесі роботи проводиться розрахунок будівлі та її окремих частин із формуванням робочих креслень і схем армування конструктивних елементів. Комплекс складається з окремих програм - КОМПОНІВКА, БАЛКА, КОЛОНА, ФУНДАМЕНТ, ПІДПІРНА СТІНА, ПЛИТА, РОЗРІЗ (СТІНА), ЦЕГЛА. Ці програми пов'язані інформаційно, крім того, кожна може працювати в автономному режимі.

- **САПФІР-3D.** Система параметричного 3D моделювання САПФІР-3D займається питаннями проектування архітектурних конструкцій всіляких об'єктів будівництва: багатоповерхових житлових і громадських будівель, споруд цивільного призначення, прогонових будов, малих архітектурних форм. САПФІР-3D містить в собі зручні та потужні інструменти графічного побудови та редагування параметричних 3D моделей архітектурних конструкцій створюють всі умови для повного розкриття творчого потенціалу проектувальника.

Коректна й адекватна аналітична модель, яка формується з урахуванням безлічі нюансів, дозволяє виконувати розрахунки на міцність і аналіз напружено-деформованого стану конструкцій в ПК ЛІРА-САПР.

Параметризація та структурування інформаційної моделі дозволяють контролювати навіть дуже складні проекти, з легкістю вносити корективи на будь-якому з етапів проектування і тут же здійснювати міцнісний розрахунок, що провокує багатоваріантність і заохочує до творчого пошуку.

Оперування звичними поняттями і термінами, такими як: поверх, перекриття, стіна, колона, балка, переріз, сходи, фасад і т.д., дозволяє негайно включитися в роботу без освоєння додаткових формалізованих понять і визначень.

Можливість отримувати плани поверхів, розрізи і фасади на основі єдиної інформаційної моделі будівлі забезпечує повну взаємну відповідність видів і виключає механічні креслярські помилки.

МОНОМАХ-САПР, САПФІР-3D, разом із ЕСПРІ (електронний довідник інженера), входять до групи ЛІРА-САПР, і працюють разом доповнюючи один одного.

- SCAD Office. Обчислювальний комплекс SCAD реалізований як інтегрована система міцнісного аналізу та проектування конструкцій на основі методу скінченних елементів. SCAD містить розвинену бібліотеку скінченних елементів для моделювання стержневих, пластинчастих, твердотільних і комбінованих конструкцій, модулі аналізу стійкості, формування розрахункових сполучень зусиль, перевірки напруженого стану елементів конструкцій за різними теоріями міцності, визначення зусиль взаємодії фрагмента з усією конструкцією, обчислення зусиль і переміщень від комбінацій завантажень. До складу комплексу введено програми добору арматури в елементах залізобетонних конструкцій і перевірки перерізів елементів металоконструкцій.

SCAD Office так само як і ЛІРА-САПР має широку лінійку продуктів: SCAD (Обчислювальний комплекс для міцнісного аналізу конструкцій методом скінченних елементів); Кристал (Розрахунок елементів сталевих конструкцій); АРБАТ (Добирання арматури та експертиза елементів залізобетонних конструкцій); КАМІН (Розрахунок кам'яних і армокам'яних конструкцій); ДЕКОР (Розрахунок дерев'яних конструкцій); ЗАПРОС (Розрахунок елементів основ і фундаментів); УКІС (Аналіз стійкості укосів і схилів); ВеСТ (Розрахунок навантажень за СНіП «Навантаження та діяння» та ДБН); Моноліт (Проектування монолітних ребристих перекриттів); КРОСС (Розрахунок коефіцієнтів постелі будівель і споруд на пружній основі); КОНСТРУКТОР ПЕРЕРІЗІВ (Формування та розрахунок геометричних характеристик перерізів з прокатних профілів і листів); КОНСУЛ (Побудова довільних перерізів і розрахунок їхніх геометричних характеристик на основі

теорії суцільних стержнів); ТОНУС (Побудова довільних перерізів та розрахунок їхніх геометричних характеристик на основі теорії тонкостінних стержнів); СЕЗАМ(Пошук еквівалентних перерізів); КОМЕТА-2 (Програма виконує розрахунок та проектування вузлів сталевих конструкцій); КоКон (Довідник з коефіцієнтів концентрації напружень та коефіцієнтів інтенсивності напружень); КУСТ (Розрахунково-теоретичний довідник проектувальника); Магнум (Нормативний розрахунок несних елементів конструкцій з холодно-гнутих профілів).

Були також Маестро (призначений для проектування цивільних будівель і складається з архітектурного, конструктивного та сантехнічного розділів) і Каліпсо (інструмент підрахунку обсягів робіт будівельних об'єктів, прив'язки кошторисним нормативам, експорту в кошторисні комплекси та системи управління будівництвом), які на сьогодні безнадійно застаріли.

Також окремо існували спеціалізовані програми для розрахунку основ і фундаментів ФОК-ПК і ФОК-ПК Стрічкові фундаменти, які займалися питаннями проектування фундаментів під колони каркасних будівель на природній, пальовій забивній та пальовій буро-набивній основі, проектування (перевірка) стрічкових фундаментів на природній та пальовій основі під стіни безкаркасних будівель, проектування гравітаційних підпірних стін та підпірних стін з буро-набивних паль та шпунтів іншої конструкції.

- Autodesk Revit. В Autodesk Revit Architecture створюється єдина модель будівлі (Building Information Model - BIM), що включає плани поверхів, фасади, розрізи, специфікації та інші елементи архітектурного проекту. Параметричні елементи будівельних конструкцій - стіни, вікна, колони, сходи, дахи, двері та інші компоненти логічно пов'язані, що дозволяє швидко створювати та редагувати тривимірну модель об'єкта. У моделі будівлі, створеної в пакеті, кожен 2D або 3D вигляд, кожен лист, кожна специфікація - це відображення інформації з єдиної бази даних споруди. У програму закладено технологію параметричних змін, яка дозволяє автоматично проводити через усі види та листи операцію, виконану у будь-якому вигляді.

ВІМ-модель будівлі – це чисельна модель, яка може бути відредагована, існуюча в реальному часі єдина комплексна модель, яка містить повну графічну та текстову інформацію про всі елементи будівлі. Основні переваги ВІМ-моделювання:

- Створення шляхом додавання в базу даних нетипових елементів, позначень і так далі;
- Спільна робота як між учасниками проекту, так і між відділами;
- Параметризація;
- Пошук колізій, і як наслідок, своєчасне усунення;
- Випуск будь-якої документації. Від проекту до кошторису та бухгалтерських рахунків;

Завдяки використанню ВІМ-технології підвищується ефективність взаємодії всіх ділянок процесу, скорочується вартість, термін та ризики. Такий підхід полегшує впровадження концепцій енергоефективності, перехід на інноваційні, енергозберігаючі технології будівництва.

В Revit представлена можливість створювати відкриті інтелектуальні параметричні бібліотеки як зовнішні сімейства та впроваджувати їх у файли моделі, легко керуючи їх параметрами та редагуючи в міру потреби. Параметричні компоненти сімейств можуть являти собою як прості будівельні елементи (стіни, отвори, колони тощо), так і складніші - наприклад, меблі та різноманітні обладнання. Зовнішні сімейства створюються на основі шаблонів і не вимагають знання мови програмування. Сімейства бувають системні, розроблені дружніми фірмами, або створені продавцями будівельних компонентів.

В Revit Structure можливі розрахунки балок, колон на міцність за методами розрахунків з будівельної механіки.

Revit виконує роботи з армуванням, координаційними, аналітичними моделями, хмарним середовищем Autodesk Docs (який є по суті заміною сервера, можна переносити свої проекти в хмарне середовище, і вони там

досить добре працюють), переважна більшість команд Autodesk орієнтовані на хмару.

Базові файли Revit цілісні - це пакет документації, який працює комплексно, де архітектурна, конструктивна частини, а також інженерні мережі разом. Дуже швидка і зручна робота з лінкованими файлами, а також можливість одночасно розглядати декілька варіантів конструкції. Autodesk роблять програму по найкращих світових практиках роботи в Revit, і постійно оновлюють інструментарій.

Одні з останніх впроваджень - робота з рельєфами, як із звичайним перекриттям, яке має залежності, відчуття об'єму, чутлива триангуляція в топосоліді з гранями за які можна причепитись, і гнучко настроюванні пікети. З рельєфом можна працювати як із об'ємним тілом, що дуже зручно для ландшафтної роботи. Також робота з тунелями, покращена робота зі специфікаціями, з автоматичним розміщенням їх на листі.

- Allplan. Усі комплексні BIM-системи мають як слабкі так і сильні сторони. Allplan сильний в залізобетоні, збірних будовах і протяжних об'єктах.

Не секрет, що в будівельній галузі не менш як 20% бюджетів будівництва приходиться на втрати: 10% матеріалів витрачається марно; 30% будівництва переробляється; 40% робіт непродуктивні; 40% проектів перевищують бюджет; 90% проектів спізнюються. Багато в чому через неефективні комунікації, планування та взаємодії. В будівництві мостів це питання стоїть особливо гостро.

Програмний комплекс Allplan містить в собі окремий підрозділ Allplan Bridge.

Можливості Allplan Bridge:

- Параметричне моделювання з правилами, які можна настроювати;
- Легке змінення в будь який час;
- Календарний план будівництва;
- Автоматичне формування розрахункової моделі;
- Вбудований і зовнішній розрахунок конструкцій;

- Моделювання і розрахунок напруженого армування;
- Деталювання та випуск робочих креслень;
- Взаємодія на BIM-моделі.

Параметричний моделлер Allplan Bridge створює моделі за класичним принципом “Переріз-Вісь”, швидко створення того та іншого. І коли ми змінюємо чи то вісь, чи то переріз, змінюється уся наша конструкція, виконується перерахунок структурної моделі. Паралельно можливе виконання розрахунку на міцність, в тому числі в незавершеному стані, тобто з урахуванням фактору часу. Цей метод дуже добре зарекомендував себе до мостів коробчастого перерізу.

До балочних же мостів використовується інша методика, де геометрія балки напряму не залежить від вісі, а визначається структурними елементами, розміщенням опор. В моделюванні балочних мостів існують основні елементи моделювання (вісі, перерізи, основи, балки, плита, елементи вирівнювання (ребра, вути)), за допомогою яких виконується деталізація моделі, а також їх параметричного розміщення, через певні закони розміщення повторюваних об’єктів (опорні частини, ребра жорсткості, елементи огорожі і вітрозахисту, освітлення і т.п.).

Також в Allplan Bridge є можливість створення графіку послідовності побудови конструкції і в подальшому отримувати об’єми з окремих охоплень.

Allplan Bridge містить більш зручні способи визначення опор, створення універсальних шаблонів опор, введення та керування пікетами. Також більш зручна користувальницька структура проекту (дерево навігації, і методи групування елементів). Також містить зручну бібліотеку параметричних елементів, шаблонів. Використання движка Parasolid для побудови сітки перерізів у місці скосу. Використання допоміжних вісей (бічних бордюрів, підпірних стін).

Армування в Allplan дуже докладне, міститься можливість створення своїх сортаментів сіток (зі своїми габаритними розмірами, маркуванням, розташуванням стержнів)

Також міститься система контролю проектних рішень Allcheck, яка дозволяє автоматизовано виконувати перевірки моделей, отриманих від КБ, до передачі на машини, в підготовку виробництва, логістику, облік, такі як вхідний контроль архітектури, конструктивні перевірки та перевірки на міцність, положення монтажних закладних деталей, розміщення отворів, геометрія виробів, відповідність вихідному завданню.

Також існує хмарна платформа Vimplus для інтеграції робочих процесів, і взаємодії їх учасників, імпорт вісей, каталогів матеріалів, імпорт/експорт об'ємної, розрахункової моделей.

В підсумку можемо зазначити, що програмний комплекс Allplan дає замовнику/підряднику:

- Автоматизований контроль якості проектування в експертній системі Allcheck;
- Отримання ТЕО та кошторисів з моделі Design2Cost;
- Зв'язок з системами календарного планування Design2Time;
- Зв'язок з розрахунковими програмами Design2Static;
- Спілкування учасників проекту в хмарі Vimplus;
- Керування заводами збірних ЗБК;
- Зв'язок з ERP системами управління будівельним проектом.

Allplan поєднує в своєму середовищі конструкторів, спеціалістів по розрахункам, замовників, підрядників, експертів, і т.ін., поєднує розділи і стадії проектування будівель, поєднує програми, в яких виконується робота. Допомагає наводити лад з варіантним концептуванням, розрахунками, конструюванням, об'ємами, поставками, монтажем, виробництвом, термінами та кошторисами.

Перелік посилань

1. Городецкий, А.С. Компьютерные модели конструкций [Текст] / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: Факт, 2007. – 394 с.
2. Городецкий А.С. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций. Учебное пособие [Текст] /

А.С. Городецкий, В.С. Шмуклер, А.В. Бондарев - Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 889 с.

3. МОНОМАХ-САПР 2013. Учебное пособие. Примеры расчета и проектирования [Электронное издание] / Д.А. Городецкий, С.В. Юсипенко, Л.Г. Батрак, А.А. Лазарев, А.А. Рассказов
4. Офіційний сайт ЛІРА-САПР [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – LIRALAND Group, 2002-2023. – Режим доступу: <http://www.liraland.ua>
5. Офіційний сайт SCAD Office [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – SCAD Structure, 2001-2023. – Режим доступу: <https://scadsoft.com/ua>
6. Офіційний сайт Autodesk [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Autodesk Inc., 2023. – Режим доступу: <https://www.autodesk.eu/>
7. Офіційний сайт Allplan [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – ALLPLAN Deutschland GmbH, ALLPLAN is part of the Nemetschek Group, 2023. – Режим доступу: <https://www.allplan.com/>
8. Портал програмних рішень Allplan [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Allbau Software, 2022. – Режим доступу: <https://www.allbau-software.de/>