

## Тема 5. Базові САПР у будівництві

### 1. Сучасні напрямки розробки та особливості функціонування проектувальних систем

Каталоги компаній, які займаються поширенням програм для будівельного проектування, налічують сотні найменувань програм вітчизняних і зарубіжних виробників з усіх розділів проекту. У межах цього конспекта розглянемо кілька типових програмних систем, що використовуються у практиці проектування конструкцій будівель і споруд для розрахунку, проектування та випуску робочих креслень. Передусім мова піде про так звані базові програми, на основі яких будуються різноманітні спеціалізовані додатки.

До універсальних базових програм належить один із найпопулярніших інструментів для випуску проектної документації — система [AutoCAD](#) компанії Autodesk. Добре продуманий графічний діалог із багаточисельними функціями, безперервний розвиток та підтримка (над графічною системою AutoCAD у фірмі Autodesk уже багато років працює понад 5000 спеціалістів) докорінно змістило акценти [САПР](#) у бік автоматизації чисто графічних робіт, тим більше, що випуск проектної документації на комп'ютерах став практично обов'язковим для більшості проектних фірм. На сьогодні AutoCAD — майже світовий стандарт у галузі систем автоматизованого проектування, реалізованих на персональних комп'ютерах. Формати файлів DWG і DXF системи AutoCAD стали стандартом обміну даних для більшості програм. Універсальність системи, крім того, забезпечує велика кількість спеціалізованих програмних "надбудов", створюваних багатьма незалежними розробниками та підключених до AutoCAD. До таких надбудов, наприклад, належать системи архітектурного проектування Architectural Desktop (Autodesk) та Project Studio (Consistent Software (CS), Москва), архітектурно-будівельна лінія МАЭСТРО (Група Маестро, Київ), додатки для оформлення архітектурно-будівельних креслень СПДС GraphiCS (CS) і ПАРКС (Медінвестпроект, Київ) тощо.

До базових, як правило, належать і системи архітектурного проектування. Це пов'язано з тим, що розробка більшості розділів проекту виконується на основі архітектурної моделі (об'ємно-планувального рішення, що є її основою), наявність цієї моделі становить якщо не обов'язкову, то бажану умову для автоматизації випуску проектної документації. Крім зазначених вище систем, широке застосування у практиці проектування знайшли системи ArchiCAD (Graphisoft, Угорщина) і ALLPLAN (Nemetschek, Німеччина), які використовують власне графічне середовище. Для створення нових додатків згадані системи у своєму складі мають спеціальні програмні засоби, які називають інтерфейсом пикладних програм — Application Program Interface (API). Ці засоби використовують розробники програмного

забезпечення, з їхньою допомогою створені програми для передавання геометрії будівлі в системи розрахунку та проектування конструкцій, просторового трасування систем повітроводів та кондиціонування, розведення по будівлі мереж енергопостачання та багатьох інших.

Для автоматизації проектування металевих конструкцій використовують спеціальні програми, що враховують специфіку конструкцій цього виду. До них належать комплекси StruCAD (AceCAD Software), HyperSteel (DSC CAD/[CAM](#)-Technologien GmbH, Німеччина), RealSteel (InRe, Литва) та ін. (дві останні зі згаданих програм становлять додаток AutoCAD). Відмінною ознакою цього виду програмного забезпечення є розвинені засоби тривимірного графічного моделювання конструкції та автоматичне формування на основі цієї моделі комплектів креслень марок КМ і КМД. Більше того, як додаток до програми StruCAD розробники пропонують додаткові модулі, серед яких модуль для створення програм керування верстатами з числовим програмним управлінням, на яких виготовляють елементи металоконструкцій, тобто здійснюється перехід від CAD до CAM.

Таким чином, можемо виділити декілька основних напрямів розвитку сучасних проектувальних систем:

- графічні системи (типу AutoCAD), що мають потужний апарат для створення на екрані комп'ютера графічного зображення об'єкта і здатні видавати проектні документи, що відповідають лише екранному зображенню;
- графічні системи (типу ArchiCAD, InteAr, Allplan, Architectural Desktop), що мають потужний апарат графічного діалогу, який дозволяє створювати за екраном графічну модель об'єкта, що відображає його геометричні та видові властивості, і видають графічну інформацію про об'єкт на основі обробки цієї моделі;
- проблемно-орієнтовані проектувальні системи (типу SCAD, ЛИРА, ИИБА, АЫІ818, COSMOS), що мають дружній вузькопрофесійний інтерфейс, добре структуровану цифрову модель об'єкта, ряд чисто проектних процедур, проте вирішують обмежений клас проблемних задач і вимагають від користувача глибоких професійних знань у предметній області;
- проектувальні системи, орієнтовані на максимальне використання можливостей системи «спеціаліст-комп'ютер», що включає розвиток моделі об'єкта, дружній інтерфейс, спеціалізовану експертну систему, базу знань і відповідають вимогам сучасних інформаційних технологій (типу MOHOMAX);
- інтегровані системи, що базуються на цифровій моделі об'єкта.

Уже зараз розробки проектувальних систем SCAD, ЛИРА, МОНОМАХ ведуться із врахуванням їх інформаційного зв'язку з ЦМО. На сьогодні розроблена технологічна лінія, що включає архітектурні системи (ArchiCAD, Architectural Desktop), конструювальні системи (SCAD, ЛИРА, МОНОМАХ), спрощену цифрову модель об'єкта, автоматизовану систему підрахунку об'ємів робіт (АРКО) і кошторисні системи (Тендер-Контракт, АВК, будівельні технології).

## 2. Огляд сучасних розрахункових програмних комплексів

Сучасні промислові програмні продукти, орієнтовані на розв'язання задач проектування конструкцій, умовно можна поділити на три групи:

1. Обчислювальні системи, призначені для міцнісного аналізу конструкцій.
2. Програми для виконання перевірок несучої здатності елементів конструкцій на відповідність чинним нормам проектування.
3. Проектувальні програми, що виконують формування та випуск робочих креслень, специфікацій та інших матеріалів, передбачених проектом.

Умовність такого поділу пояснюється тим, що до складу обчислювальних систем можуть входити, наприклад, модулі для підбору арматури в елементах залізобетонних конструкцій чи перевірки перерізів металевих конструкцій, а до складу програм другої групи — модулі випуску робочих креслень.

Крім того, існує велика кількість допоміжних програм, що використовуються для інформаційної підтримки процесу проектування, наприклад, бази даних матеріалів, сортаменти металопрокату, арматури тощо, електронні довідники з нормативною документацією, а також спеціалізовані програми для формування та розрахунку перерізів, встановлення значень навантажень і впливів, обчислення коефіцієнтів пружної основи та ін. Допоміжні програми можуть бути автономними або мати інформаційний зв'язок з іншими програмами.

Список програм першої групи, призначених для розв'язання міцнісних задач будівельної механіки, вражає своїм розмаїттям та широтою функціональних можливостей. Спільним для всіх цих програм є використання для розрахунку методу скінчених елементів і наявність розвинених графічних засобів створення розрахункової моделі та аналізу результатів. Тут присутні потужні універсальні обчислювальні системи, такі, наприклад, як ANSYS, ADINA, COSMOS, NASTRAN, не прив'язані до якоїсь певної сфери застосувань. Їхню відмінну особливість становить орієнтація на багатодисциплінарність проблеми (пружність, пластичність, теплофізика,

магнітодинаміка, гідрогазодинаміка та ін.) і на розв'язання задач із сотнями тисяч і мільйонами невідомих.

Існує велика кількість систем, орієнтованих на міцнісний аналіз конструкцій будівель та споруд. Серед них такі популярні в Україні системи, як ЛІРА та SCAD, зарубіжні програми SAP 2000, GTSTRUDL, STAD, ROBOT та ін. Їхня особливість полягає у тому, що графічні засоби створення розрахункової схеми (препроцесор) та аналізу результатів (постпроцесор) зорієнтовані на специфіку проектування об'єктів будівництва. Крім того, до них підключаються каталоги профілів та матеріалів, використовуваних у будівництві, вони містять специфічні модулі аналізу (наприклад, для побудови ліній впливу, обчислень із врахуванням сейсмічних впливів та пульсацій вітрового навантаження тощо).

Особливу популярність у проектувальників здобули об'єктно орієнтовані програми для перевірки елементів конструкцій на відповідність вимогам норм проектування (ми віднесли їх до другої групи). Інколи їх називають "калькуляторами". Ці програми можуть бути спеціалізованими та перевіряти елементи певного виду (наприклад, тільки елементи сталевих конструкцій). До них можна віднести КРИСТАЛЛ, АРБАТ, КАМИН, які входять до складу інтегрованої системи SCAD Office, ОМ СНиП Железобетон, ПРУСК, Фундамент та ін. Перевагою таких програм є детальна розробка розрахункових положень нормативних документів та простота звернення (зручність користувацького інтерфейсу), що робить їх незамінним інструментом інженерів-проектувальників. Існують також універсальні програми, в яких виконуються перевірки елементів конструкцій різного виду, наприклад, Structural Engineering Library, СПИИ. І ті, й інші програми можуть мати засоби для виготовлення креслень, специфікацій, хоча це, найчастіше, ескізи високого рівня готовності, а не готова проектна документація.

Нарешті, до третьої групи входять так звані проектувальні програми та системи, які на основі результатів міцнісного аналізу конструкцій та нормативних розрахунків елементів формують проектну документацію. Серед них можна виділити систему ALLPLOT (система проектування у складі комплексної системи архітектурно-будівельного проектування ALLPLAN), програми МОНОЛИТ та КОМЕТА (у складі SCAD Office), ФОК, модулі БАЛКА, КОЛОННА, ПЛИТА, СТЕНА (у складі програмного комплексу проектування конструкцій каркасних будівель МОНОМАХ).

Серед найбільш придатних для проектування будівельних конструкцій варто відзначити ПК: STRAP (Ізраїль), NASTRAN, STRUDL, ANSIS, COSMOS, ADINA (США), DIANA (Голландія), ROBOT (Франція), STARK (Росія), SCAD, ЛІРА, МОНОМАХ (Україна).

Спеціаліст, який займається безпосередньо проектуванням будівельних об'єктів, звичайно, надасть перевагу тому ПК, що має конструктивні системи, в яких реалізовані стандарти та норми того регіону, для якого спеціаліст виконує проектування.

Американські програми, які мають конструювальні підсистеми (виконують підбір та перевірку перерізів ЗБК і металевих конструкцій, видають робочі креслення), в основному реалізують норми США і Канади. Європейські програми, включаючи STARK, SCAD і ЛІРА, реалізують Єврокод. У ПК STARK, SCAD, ЛІРА, МОНОМАХ реалізовані також норми країн СНГ, тому для нашого регіону саме ці ПК є найпривабливішими [37].

До програм, що реалізують сучасні концепції автоматизованого проектування у середовищі Windows, відносяться: ЛІРА-САПР, МОНОМАХ-САПР, САПФІР, ЭСПРИ, СОН, SCAD. Нижче наведено короткі відомості про кожну з програм.

### 3. ПК "ЛІРА САПР", склад, призначення, сфери застосування

**ПК "ЛІРА-САПР"** - програмний комплекс для розрахунку, дослідження і проектування будівельних конструкцій різного призначення. У ЛІРА-САПР реалізовано технологію інформаційного моделювання будівель (ВІМ), що забезпечується нативним зв'язком з іншими архітектурними, розрахунковими, графічними та документувальними системами.

Програмний комплекс включає інтерфейс користувача нового покоління САПФІР-КОНСТРУКЦІЇ. Система слугує для синтезу розрахункової схеми будівлі на основі керованої процедури перетворення 3D та 2D архітектурних моделей, створених в різних графічних програмах: САПФІР, Allplan, Revit, AutoCAD та інших. Створення розрахункової схеми здійснюється безпосередньо із архітектурної 3D і 2D моделі.

Реалізована бібліотека автоматичних генераторів скінченно- елементних сіток: трикутна SE-сітка для апроксимації криволінійних поверхонь; SE-сітка з максимальним числом чотирикутних SE і покращеною апроксимацією в приопорних та прогонових зонах.

**САПФІР-КОНСТРУКЦІЇ** - дозволяє створення і редагування навантажень у вигляді зосереджених та розподілених по лінії і площині. Навантаження задається на довільних поверхнях без прив'язки до SE моделі. Наявна процедура синтезу навантажень, що дозволяє автоматично сформувати експлуатаційні навантаження залежно від призначення приміщень.

В програмі реалізовано діагностику створеної аналітичної моделі, а також:

- розвинене інтуїтивне графічне середовище ВІЗОР-САПР користувача з можливістю 3D-візуалізації розрахункової схеми на всіх етапах синтезу і аналізу;
- багатофункціональний процесор, що реалізує швидкодійні алгоритми компонування і розв'язування систем рівнянь з порядком до декількох мільйонів невідомих;
- розвинену бібліотеку СЕ, яка дозволяє створювати комп'ютерні моделі практично будь-яких конструкцій;
- можливість розрахунку на динаміку (сейсміка, вітер, вібрація, імпульс, удар);
- конструювальні системи залізобетонних і сталевих елементів;
- спеціалізований документатор, що дозволяє формувати звіт із текстової, табличної та графічної частини;
- зв'язок з іншими розрахунковими, графічними та документувальними ми системами САПФІР (Revit, Structure, AutoCad, ArchiCAD, Advance Steel, BoCAD, Allplan, STARK ES, Gmsh, MS Word, MS Excel) на основі DXF, MDB, STP, STL, OBJ, IFC та інших форматів.

Програма ПК "ЛІРА-САПР" має спеціальні можливості:

суперелементне моделювання, модулі урахування фізичної та геометричної нелінійності, набір спеціальних СЕ для моделювання тертя, проковзування, попереднього натягу. Спеціальна процедура дозволяє виконати автоматичну тріангуляцію тривимірного ґрунтового масиву, накласти отриману скінченно-елементну сітку на тривимірну модель ґрунту та призначити фізико-механічні характеристики кожному скінченному елементу залежно від його місцезнаходження. Аналіз напружено-деформованого стану подається у вигляді ізополів на довільних площинах перерізу ґрунтового масиву. Виконання автоматичної тріангуляції тривимірного масиву з призначенням фізико-механічних характеристик кожному скінченному елементу.

### ***Основні конструювальні системи ЛІРА-САПР***

**АРМ-САПР** - конструювальна система армування. Реалізує підбір площі перерізів арматури колон, балок, плит, оболонки за I-ою і II-ою групою граничних станів згідно з діючими нормативними документами. Передбачено

використання довільних характеристик бетону і арматури. Реалізовано алгоритми з раціональним розташуванням арматури по перерізу елемента. За результатами розрахунку в програмі формуються ескізи робочих креслень балок і колон.

**ЛАРМ-САПР** - локальний режим армування. В програмі можна конструювати окремих залізобетонний стержень чи окремих елемент пластини. Проводиться підбір і перевірка заданого армування. Реалізовано СП 52-101-2003, СНиП 2.03.01-84, Єврокод, ТСН 102-00, ДСТУ 3760-98, ДБН В.2.6- 98:2009.

**СТК-САПР** - металеві конструкції. Програма реалізує конструювання елементів металевих конструкцій і виконує підбір і перевірку перерізів, а також виконує розрахунок і проектування вузлів металевих конструкцій. Система може функціонувати в локальному режимі.

**РС-САПР** - редактор металевих сортаментів. Система є інструментарієм для створення нових і редагування існуючих сортаментних баз прокатних і зварних профілів. Разом з системою надається широкий набір існуючих нормативних баз профілів і сталей країн СНГ, Європи та США.

**КС-САПР** - конструктор перерізів. Дозволяє формувати перерізи довільної конфігурації та обраховувати їх осьові, згинальні, крутні і зсувні характеристики, моменти опору, форму ядра перерізу. Зображається картина розподілу напружень.

#### 4. Спеціалізовані розрахунково-графічні системи конструювання

**МОНТАЖ плюс** - виконує комп'ютерне моделювання процесу зведення конструкцій висотних будівель із монолітного залізобетону з врахуванням частотої зміни розрахункової схеми, демонтажу стійок опалубки, прикладання та зняття монтажного навантаження, врахування різної жорсткості та міцності бетону, при виконанні будівельних робіт в зимовий період.

**ГРУНТ** - за даними інженерно-геологічних вишукувань будує тривимірну модель з визначенням коефіцієнта постелі для кожного СЕ.

**КМ-САПР** - дозволяє за даними розрахунків металевих конструкцій в середовищі ЛІРА отримати монтажні схеми з маркуванням елементів та вузлів, відомості елементів, креслення вузлів з їх візуалізацією та специфікації, тобто повний комплект креслень в середовищі AutoCAD.

**Варианти моделей** - дозволяє варіювати жорсткістю, граничними умовами, навантаженням, модулем деформації, коефіцієнтами постелі. Ця процедура дозволяє вирішувати задачі стійкості прогресуючому руйнуванню

шляхом послідовного видалення найбільш відповідальних елементів, враховувати знижені модулі деформації при температурних впливах, в зручному режимі виконувати варіантні розрахунки.

**МОСТ** - дозволяє будувати поверхні впливу, отримувати РСЗ і передавати їх в ЛИР-КС, визначати напруження в елементах перерізу металевих прогонних мостів.

**ДИНАМИКА плюс** - дозволяє виконувати розрахунки на динамічні впливи з урахуванням нелінійних властивостей конструкцій (фізичної, геометричної, конструктивної).