

УДК 624.012:454

С.В. Ротко, О.А.Ужегова, І.В.Задорожнікова
Луцький національний технічний університет

ПРИКЛАДНІ ЗАСОБИ ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО РОЗРАХУНКУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

У статті. акцентовано увагу на використанні прикладних комплексів і програм, зокрема, ПК МОНОМАХ (програма КИРПИЧ), ПК SCAD Office (програма КАМИН), пакету прикладних програм NormCAD, для проектування елементів будівельних конструкцій. Представлено новостворений навчальний посібник „Розрахунок кам'яних і армокам'яних конструкцій”.

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 і випуск робочих креслень, специфікацій та інших матеріалів, передбачених проектом.

Існує велика кількість систем, орієнтованих на міцнісний аналіз конструкцій будівель та споруд [1, 2, 3]. 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 і т. п.).

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 СНіП 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 і 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, ANSYS, 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 виконується 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 СНД, тому для нашого регіону саме ці ПК є найпривабливішими.

Сучасне програмне забезпечення реалізує найновіші методи проектування, засновані на поєднанні накопиченого досвіду, що міститься у традиційній конструктивній формі, із можливістю глибокого аналізу цих конструктивних рішень. Навчити майбутнього фахівця таких методів роботи є дуже важливою частиною професійної підготовки. Для допомоги студенту в опануванні прикладних програм і їх практичному використанні стане у нагоді новостворений посібник „Розрахунок кам'яних і армокам'яних конструкцій”.

Навчальний посібник „Розрахунок кам'яних і армокам'яних конструкцій” написано на основі викладання дисципліни „Залізобетонні, кам'яні та армокам'яні конструкції” для студентів спеціальності „Промислове та цивільне будівництво” напрямку „Будівництво” у Луцькому національному технічному університеті з урахуванням програми запровадження концепції Болонської декларації у систему вищої освіти України.

Посібник складено згідно з програмами загального та спеціального курсів дисципліни. У загальному курсі „Залізобетонних, кам'яних та армокам'яних конструкцій” передбачено один змістовий модуль „Кам'яні та армокам'яні конструкції”, де під час лекційних, практичних занять і самостійної роботи студенти вивчають фізико-механічні характеристики кам'яної кладки, основні теоретичні положення розрахунку елементів кам'яних і армокам'яних конструкцій за різних видів навантажень, основи проектування цих конструкцій відповідно до чинних норм.

Спецкурс будівельних конструкцій включено до дисциплін циклу вільного вибору студента „Будівельні конструкції, будівлі та споруди”. Саме у розрізі цього циклу студенти мають можливість поглиблено вивчити розрахунок і проектування елементів будівельних конструкцій із застосуванням прикладних комп'ютерних програм. У посібнику наведено основні теоретичні положення та методики розрахунку елементів кам'яних і армокам'яних конструкцій із застосуванням прикладних комплексів і програм, зокрема, ПК МОНОМАХ (програма КИРПИЧ), ПК SCAD Office (програма КАМИН), пакету прикладних програм NormCAD, які на сьогодні усе частіше застосовуються при проектуванні елементів і конструкцій.

ПК МОНОМАХ є типовим представником інтелектуальних проектувальних систем [10]. Комплекс призначений для розрахунку та проектування конструкцій монолітних багатоповерхових каркасних будівель. Реалізовано також розрахунок цегляних будинків висотою до 14 поверхів із включеннями із монолітного залізобетону.

ПК МОНОМАХ складається із дев'яти інформаційно пов'язаних програм, кожна з яких може працювати в автономному режимі: КОМПОНОВКА, КОЛОННА, БАЛКА, ФУНДАМЕНТ, ПЛИТА ПЕРЕКРЫТИЯ, ФУНДАМЕНТНАЯ ПЛИТА (на ґрунтовій і палевій основах), ПОДПОРНАЯ СТЕНКА, РАЗРЕЗ (СТЕНА), КИРПИЧ (рис. 1).

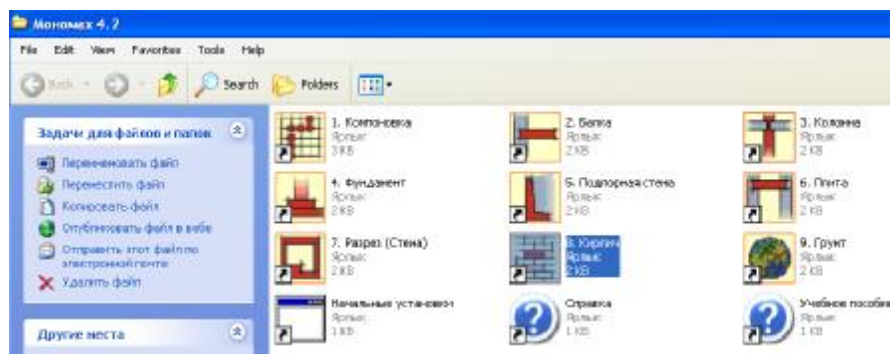


Рис.1. Вікно ПК МОНОМАХ

Нижче детально розглянуто можливості програм КОМПОНОВКА та КИРПИЧ.

КОМПОНОВКА – коренева програма для проектування багатоповерхових каркасних будівель із монолітного залізобетону та будівель із цегляними стінами. Вона дозволяє швидко та зручно в інтерактивному графічному режимі формувати схему будівлі, задавати навантаження у природному вигляді, виконувати розрахунок конструктивних елементів будівлі за міцністю, підбирати перерізи елементів, визначати витрати бетону, арматури, цегли та інших матеріалів, оцінювати вартість споруди, експортувати дані до інших локальних програм.

Основні функції програми:

- формування моделі будівлі на довільній сітці плану з колон, балок, стін, перегородок, плит перекриття, фундаментних плит і паль;
- виконання розрахунку цегляних будівель із несучими стінами та комбінованих каркасних будівель підвищеної поверховості з цегляним заповненням;
- скорочення часу на створення моделі та виконання варіантного проектування за допомогою використання різноманітних сервісних можливостей - переміщення і повороту системи координат, копіювання, переносу, видалення одного або групи елементів, модифікації числових значень, копіювання поверхів;
- задання вертикальних і горизонтальних навантажень на плити перекриття у вигляді розподілених по всій площині або на ділянці, а також у вигляді зосереджених сил;
- задання напрямку впливу та інформації про район будівництва для урахування вітрових і сейсмічних навантажень;
- імпорт моделі ґрунту, створеної програмою ГРУНТ;
- автоматичне формування розрахункової схеми будівлі; виконання статичного та динамічного розрахунків, у результаті яких визначають переміщення, зусилля і напруження; виконання підбору або перевірки перерізів елементів; формування відомості видаткової вартості матеріалів; таблиці частот і періодів коливань. Анімація власних коливань дозволяє оцінити коректність створеної моделі;
- виконання експорту даних у програми конструювання БАЛКА, КОЛОННА, ФУНДАМЕНТ, ПЛИТА, РАЗРЕЗ (СТЕНА), КИРПИЧ. Виконання експорту навантажень на фундаменти у ФОК-ПК, а також експорту розрахункової схеми у ПК ЛИРА.

КИРПИЧ - програма для проектування стін цегляних будівель [6].

Функції програми:

- врахування при обчисленні зусиль у програмі КОМПОНОВКА спільної просторової роботи елементів будівлі; формування схеми у режимі імпорту; виконання перевірки міцності цегляної кладки стін і простінків для заданих горизонтальних рівнів;
- визначення необхідної кількості сіток і підбір стержнів вертикального армування;
- подання результатів конструювання у вигляді робочих креслень, створення dxf-файлів креслень для роботи в інших графічних комплексах (AutoCAD, ArchiCAD, AllPlan);
- новий алгоритм розрахунку простінків з урахуванням загального випадку НДС (косий позacentровий стиск-розтяг), виконання розрахунку кладки на змінання; можливість автоматичного та ручного формування простінків, створення пояснювальної записки у rtf-форматі.

Формування розрахункової схеми будівлі виконують у програмі КОМПОНОВКА. На першому етапі задають основні характеристики будівлі (відмітки планування, характеристики ґрунту, матеріали конструктивних елементів). Після цього будують план типового поверху, задають стіни, перегородки, існуючі отвори, навантаження на плити перекриття. Форма будівлі у плані може бути довільною. Для формування просторово-планувальної схеми по висоті будівлі використовують функцію копіювання поверхів із подальшим коригуванням схеми на будь-якому поверсі. До конструктивної схеми будівлі з несучими цегляними стінами дозволяється включати бетонні та залізобетонні стіни, колони, балки, тобто створювати комбінований каркас із цегляним заповненням.

Для правильного збору навантажень від власної ваги користувач має призначити для стін відповідний матеріал зі списку матеріалів. Усі міцнісні характеристики програма приймає автоматично, виходячи із заданих марок кам'яних матеріалів і розчину.

Для збору горизонтальних і вертикальних навантажень на стіни від постійних, тривалих, короткочасних навантажень, від вітрових (із урахуванням пульсації) і сейсмічних впливів користувач задає положення горизонтальних рівнів із вказівкою поверху та відмітки відносно рівня перекриття. Дозволяється задавати декілька горизонтальних рівнів на одному поверсі.

У процесі розрахунку методом скінченних елементів (МСЕ) виконують автоматичну триангуляцію стін із урахуванням положення базових перерізів, які розташовані у заданих користувачем горизонтальних рівнях. Після розрахунку будівлі МСЕ в базових перерізах у точках триангуляції обчислюють нормальні та зсувні напруження S_z, t_{xz} від постійних і змінних навантажень, формують розрахункові сполучення зусиль (РСЗ). Розрахункові сполучення зусиль програма формує автоматично, з урахуванням тривалості дії навантаження, коефіцієнтів надійності за навантаженням і розрахункових сполучень. Для детальнішого вивчення НДС стін

користувач має можливість керувати процесом автоматичного розбиття на скінченні елементи, зменшуючи крок триангуляції.

Отримані у програмі КОМПОНОВКА розрахункові напруження у стінах (простінках), геометричні розміри та характеристики матеріалу стін експортують у програму КИРПИЧ для перевірки міцності та підбору необхідної розрахункової арматури згідно з вимогами [8].

Експорт результатів розрахунку МСЕ виконують за допомогою меню **Результаты – Экспорт в конструирующие программы ПК МОНОМАХ** (рис. 2).

Для імпорту файлу, створеного у програмі КОМПОНОВКА, потрібно виконати пункт меню **Файл-Импорт**, для збереження інформації про модель – **Файл-Сохранить**.

Після цих процедур модель готова до розрахунку. Проаналізувати та відкоригувати матеріали можна за допомогою меню **Схема-Характеристики материалов**. При проектуванні армокам'яних конструкцій міцнісні характеристики арматури та вид армування (сіткове та/або вертикальне) приймають за заданими класами арматури. При підборі арматурних сіток у стінах (простінках) враховують задані користувачем параметри: висоту ряду цегляної кладки, розмір комірки сіткового армування і розрахунковий діаметр армування.

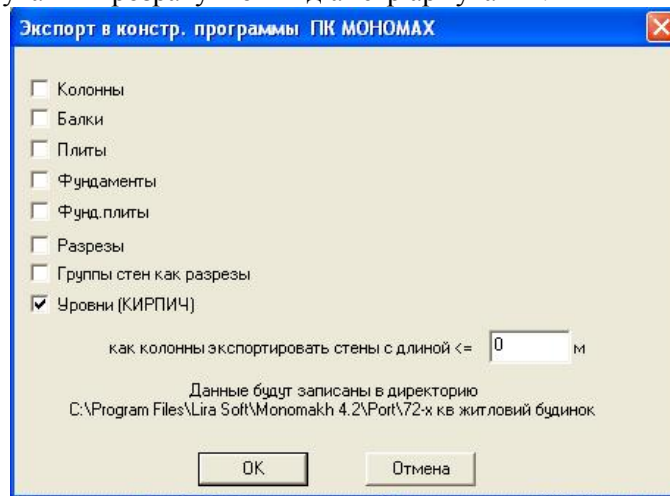


Рис. 2. Диалогове вікно „Експорт до конструювальних програми ПК МОНОМАХ”

Якщо за результатами підбору сіткового армування видається повідомлення „Армирование не обеспечивает прочность сечения”, необхідно збільшити *розрахунковий діаметр*, або зменшити *розмір комірки сіткового армування*, або призначити режим підбору арматури як *сіткове + вертикальне*. Тоді в тих точках, де недостатньо сіткового армування, програма автоматично перейде до режиму підбору вертикальної арматури.

За результатами розрахунків потрібно виконати діагностику можливих помилок. При перевищенні у стіні заданого максимального відсотка армування програма видає повідомлення: „Сетчатое армирование превышает заданное максимальное”. Якщо підібрані сітки не задовольняють умові допустимого армування, то програма повідомить про це користувача так: „Сетчатое армирование превышает оптимальное”. Якщо неможливо виконати розстановку арматури, то повідомлення буде такого змісту: „Армирование не обеспечивает прочность сечения”. При успішному підборі арматури видається повідомлення: „Подбор арматуры в каменной кладке выполнен”.


Програма КАМИН входить до складу інтегрованої системи SCAD Office і призначена для виконання конструктивних розрахунків і перевірок елементів кам'яних і армокам'яних конструкцій на відповідність вимогам СНиП II-22-81 [8].

У головному вікні програми (рис. 3) вибирають потрібний режим роботи. Режими умовно поділяються на чотири групи, у трьох з яких — **Каменные конструкции, Армокаменные конструкции, Реконструируемые конструкции** виконується експертиза, а четверта є довідковою — **Справочная информация**.

До складу обстежуваних елементів включені центрально та позакентрово навантажені стовпи різного поперечного перерізу в плані, клинчасті та аркові перемички, зовнішні та внутрішні стіни будівель із прорізами та без них, стіни підвалів.

Крім перевірки загальної міцності та стійкості елементів, виконують експертизу місцевої міцності у місцях опирання балок, прогонів та інших елементів на стіни та колони. Експертизу виконують як для неушкоджених конструктивних елементів, так і для елементів, що мають тріщини у кам'яній кладці та вогневі пошкодження внаслідок впливу температури (наприклад, внаслідок пожежі). Розв'язують задачу перевірки несучої здатності центрально та позацентрово навантажених елементів, підсиленних сталевими обоймами, а також стін, послаблених додатково утвореними прорізами.

Крім вказаних функцій, програма КАМИН виконує одночасно ще й функції довідника, за допомогою якого можна уточнити деякі фактичні дані відносно застосовуваних матеріалів, рекомендацій [7,8], а також оцінити величину та характер дефектів для пошкоджених конструкцій. Для цього до складу функцій включені спеціальні довідкові режими, а в деяких випадках

діалогове вікно має кнопку , натиснувши яку, користувач отримує додаткову інформацію довідкового характеру.

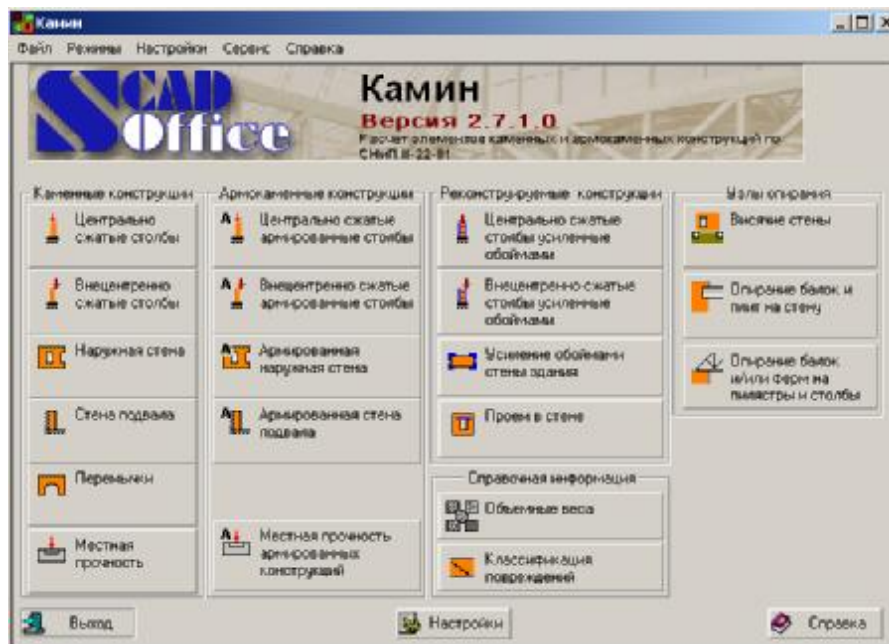


Рис.3. Головне вікно програми КАМИН

В основу розробки програми КАМИН, як і інших програм-сателітів пакету SCAD Office, покладений принцип орієнтації на досить суворе і повне виконання усіх вимог, наведених у нормах проектування кам'яних конструкцій.

Головні ідеї, покладені в основу розробки програми, такі:

- користувач має бути впевненим, що програма виконає експертизу згідно з чинними нормами проектування;
- основна довідкова та нормативна інформація має бути присутня у базі даних програми;
- користувачеві надається можливість детального аналізу результатів експертизи, і за ним залишається право вибору стосовно зміни та поліпшення конструктивного рішення.

Оцінку конструктивного рішення програма виконує за допомогою коефіцієнта використання обмежень (K_i). Критерій перевірки можна подати у вигляді:

$$\max K_i < 1, \quad (1)$$

який містить усі необхідні перевірки. Значення K_i при цьому визначає для елемента (перерізу) наявний запас міцності, стійкості або іншого нормованого параметра якості. Якщо вимога норм виконується із запасом, то коефіцієнт K_i дорівнює відносній величині вичерпання нормативної вимоги (наприклад, $K_i = 0,7$ відповідає 30% запасу).

При невиконанні умови (1) значення $K_i > 1$ свідчить про порушення тієї або іншої вимоги нормативних документів, тобто характеризує ступінь перенавантаження.

У процесі виконання експертизи програма КАМИН виводить значення K_{max} - максимального (тобто, найнебезпечнішого) із виявлених значень K_i , і вказує тип перевірки (наприклад, міцність, стійкість), за якої цей максимум реалізувався. Усі одержані в результаті перевірок значення коефіцієнтів K_i доступні для аналізу в діалоговому вікні **Діаграма факторів** (рис. 4). Дані, наведені в діаграмі факторів, дозволяють проектувальнику прийняти правильне рішення про тип необхідної модифікації конструкції.

Норми проектування будівельних конструкцій побудовані як система перевірок відомого конструктивного рішення, тобто, вони розв'язують задачу оцінки конструкцій, а не проблему її синтезу. Програма КАМИН призначена саме для оцінки (експертизи) кам'яних і армокам'яних конструкцій.

Основним призначенням пакету **прикладних програм NormCAD** є виконання розрахунків за нормативними документами та підготовка звітів за результатами цих розрахунків [5].



Рис. 4. Діаграма факторів режиму „Зовнішня стіна”

До основних переваг пакету варто віднести повну відповідність вітчизняним нормативним документам, яку можна контролювати шляхом аналізу як тексту звіту, так і електронних таблиць, що містять ці алгоритми (у переважній більшості інших програм такий контроль неможливий); отримання детальних звітів і можливість перевірки розрахунків. На відміну від традиційних програм, у яких, зазвичай, приховуються деталі виконання розрахунку та видаються лише його остаточні результати, NormCAD дозволяє отримувати максимально детальні звіти, що містять дані про всі етапи розрахунку, коментарі та формули з обчисленнями. Це дозволяє проконтролювати виконання розрахунку та з більшою впевненістю приймати рішення. Нарешті, NormCAD дозволяє не лише перевіряти виконання вимог нормативних документів, але й знаходити найоптимальніший із усіх можливих варіантів.

Розрахунок виконують за допомогою книг електронних таблиць, що містять інформацію про алгоритми розрахунку за окремими пунктами нормативних документів, а також за допомогою завдань, які об'єднують розрахунок за кількома пунктами нормативного документа. Усі нормативні документи подані у вигляді ієрархічної структури, що дозволяє швидко знайти потрібний документ або його пункт (рис.5).

Після виконання розрахунку автоматично створюється звіт, який детально описує усі виконані обчислення, наводить формули із підстановкою значень змінних, результати обчислень, вказує розмірності, наводить результати виконання або невиконання необхідних перевірок. Звіт можна коригувати, вставляти рисунки, таблиці.

У посібнику наведені приклади розрахунків кам'яних і армокам'яних конструкцій, виконаних на ЕОМ за допомогою програм і програмних комплексів.

Автори посібника зазначають, що програми КАМИН (Україна) і NormCAD (Росія) призначені для виконання конструктивних розрахунків і перевірок елементів кам'яних і армокам'яних конструкцій на відповідність вимогам чинного нормативного документа [8], але відрізняються способами представлення результатів розрахунку.

У першому випадку наведені відносні величини експертизи конструкцій, у другому – абсолютні. Так, при розрахунку у програмі КАМИН користувач отримує набір коефіцієнтів K_i , які визначають наявний запас міцності, стійкості або іншого нормованого параметра якості для елемента (перерізу).

При розрахунку в NormCAD програма формує детальний звіт, що містить дані про всі етапи розрахунку, коментарі та формули з обчисленнями. Результати експертизи конструкцій (на міцність, стійкість тощо) виводяться програмою у відсотках від граничних значень.

Користувачу надається можливість вибору програми залежно від завдання.

Переваги розрахунку конструкцій на ЕОМ очевидні, проте до цього у навчальному процесі можна звертатись лише на другому етапі, коли студенти отримали основні навички проектування елементів будівель та споруд.

Посібник „Розрахунок кам'яних і армокам'яних конструкцій” придатний як для аудиторного, так і для самостійного вивчення матеріалу студентами, містить необхідні довідкові матеріали для виконання розрахунків елементів кам'яних і армокам'яних конструкцій, у т.ч. у курсовому та дипломному проектуванні. Посібник призначений для студентів будівельних спеціальностей вищих навчальних закладів, а також може бути корисним для інженерно-технічних працівників проектних і будівельних організацій.

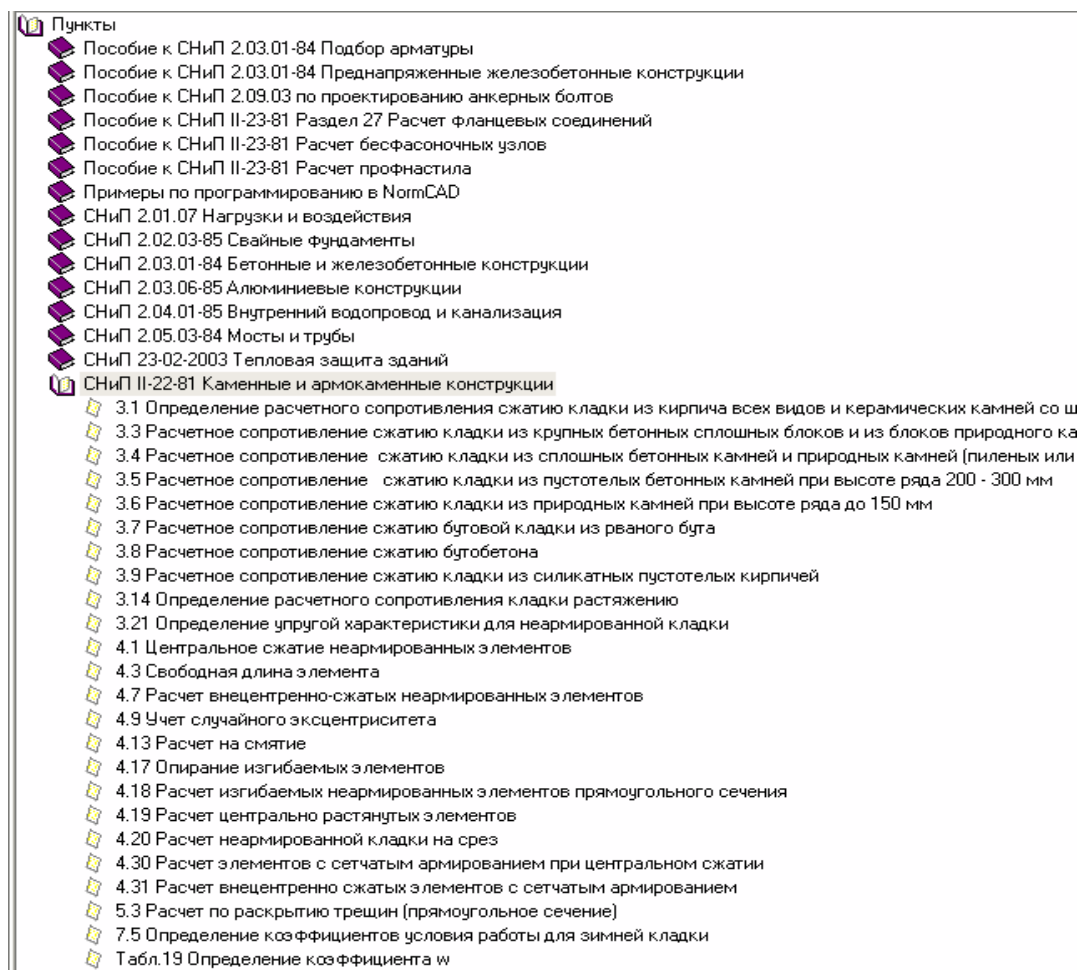


Рис. 5. Ієрархічна структура нормативних документів у програмі NormCAD

1. Баженов В.А., Криксунов Е.З., Перельмутер А.В., Шишов О.В. Информатика. Інформаційні технології в будівництві. Системи автоматизованого проектування. Підручник для вузів. – К.: Каравела, 2004.- 260 с.
2. Верюжский Ю.В., Колчунов В.И., Барабаш М.С., Гензерский Ю.В. Компьютерные технологии проектирования железобетонных конструкций. – К.: Кн. изд-во НАУ, 2006. – 805 с.
3. Городецкий А.С., Шмуклер В.С., Бондарев А.В. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций. Учебное пособие. Харьков: НТУ „ХПИ”, 2003.- 889 с.
4. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. - К.: Мінбуд України, 2006. - 72 с.
5. Пакет прикладных программ NormCAD. Версия 5.4. СНиП II-22-81. Каменные и армокаменные конструкции. ООО „Центр развития систем автоматизированного проектирования „Сапротон”, 2008.

6. Программный комплекс проектирования железобетонных конструкций многоэтажных каркасных зданий МОНОМАХ. Раздел 8. Кирпич. Программа проектирования кирпичных стен зданий. Руководство пользователя. НИИАСС. К., 2006.
7. Програма „Камин”. Версія 2.7.1.0. SCAD Soft. – К., 2006.
8. СНиП П-22-81. Каменные и армокаменные конструкции. - М.: Стройиздат, 1983. - 40 с.
9. Ротко С.В., Ужегова О.А., Задорожнікова І.В. Розрахунок кам'яних і армокам'яних конструкцій: Навчальний посібник / За редакцією д.т.н., проф. Барашикова А.Я.- Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2010. – 355 с.
10. Юсипенко С.В., Батрак Л.Г., Городецкий Д.А., Рассказов А.А. МОНОМАХ 4.0. Примеры расчета и проектирования: Учебное пособие. – К.: Факт, 2005. – 263 с.