

КИЇВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

*На правах рукопису*

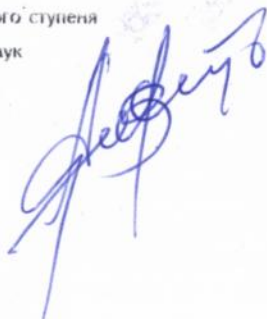
**ЯЛОВЕЦЬ**  
**Андрій Леонідович**

**МЕТОДИ І МОДЕЛІ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТА ОБРОБКИ ЗНАНЬ  
В ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМАХ БУДІВЕЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ**  
(НА ПРИКЛАДІ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ  
"ПРОЕКТУВАННЯ ЛІНІЙНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ")

Спеціальність 05.13.12 - Системи автоматизації проектування

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук



AB 38.479

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному науково-дослідному інституті теорії та історії архітектури та містобудування (НДІПІАМ), м.Київ.

Науковий керівник: кандидат технічних наук **Лихогруд Микола Григорович**

Офіційні опоненти:

1. Доктор технічних наук, професор **Потапов Віталій Іванович**
2. Кандидат технічних наук, доцент **Анпілогов Павло Іванович**

Провідна організація: **Науково-дослідний інститут автоматизованих систем будівництва (НДІАСБ) Державного Комітету будівництва, архітектури та життєвої політики України, м.Київ.**

Захист відбудеться "16" жовтня 1997р. о 13<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради **Д26.056.01** Київського державного технічного університету будівництва і архітектури Міністерства освіти України за адресою: 252037, м.Київ-37, Повітрофлотський проспект, 31, КДТУБіА, ауд. 466.

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці Київського державного технічного університету будівництва і архітектури за адресою: 252037, м.Київ-37, Повітрофлотський проспект, 31.

Автореферат розісланий "12" Вересня 1997р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Дітярук Д.Є.

Дітярук Д.Є.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00737995 (1)

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сучасний стан розвитку суспільства характеризується високою технологічністю виробництва, яка забезпечується за рахунок загальної інформатизації та комп'ютеризації процесів виробництва. Новітні інформаційні технології, в тому числі і технології штучного інтелекту (ШІ), інтенсивно впроваджуються і в сферу будівельного проектування. В останні роки одним з основних напрямків розвитку технологій ШІ в галузі будівельного проектування є побудова та впровадження експертних систем (ЕС), які містять в своєму складі знання експертів (професіоналів) в предметній області (ПО), що досліджується.

Становлення та розвиток технології ЕС будівельного проектування спирається на моделі і методи, розроблені як для традиційних ЕС, так і для САПР об'єктів будівництва (САПР ОБ). Значний вклад у створення наукового базису для становлення і розвитку методології побудови ЕС будівельного проектування внесли вчені України, країн близького та далекого зарубіжжя: В.М.Вагін, В.П.Гладун, О.С.Городецький, Л.Г.Дмитрієв, В.С.Здоренко, А.І.Козачевський, М.Г.Лихогруд, Е.В.Попов, Г.С.Поспелов, Д.О.Поспелов, Н.Аdeli, S.Felves, M.Maher та інші.

На відміну від програмних комплексів САПР ОБ, які призначені для рішення складних розрахункових задач і базуються на сучасних математичних методах та моделях оптимізації, призначення ЕС будівельного проектування полягає, окрім рішення великого переліку розрахункових задач, у рішенні задач будівельного проектування, що важко формалізуються. До таких задач належать задачі конструювання, експертних оцінок проектного рішення, тощо. ЕС будівельного проектування належать до класу гібридних (інтегрованих) ЕС, які поєднують в собі обробку чисельної і символічної інформації.

Основною проблемою, з якою стикаються розробники при побудові ЕС, є представлення знань про ПО, яка досліджується. Представлення знань - це процес, що включає виявлення, структурування та формалізацію знань про ПО, що досліджується, які формують базу знань (БЗ) ЕС. Від успіху рішення проблеми представлення (і обробки) знань в БЗ повністю залежить якість роботи ЕС.

Доцільність побудови ЕС в галузі будівельного проектування очевидна: проектування - це складний процес вибору проектного рішення з різноманітного набору альтернативних варіантів. При цьому характерною особливістю будівельного проектування є необхідність ретельного додержання проектувальниками вимог відповідних БНІП в процесі проектування. При традиційному (ручному) проектуванні експерт в конкретній ПО на основі глибокого розуміння закономірностей ПО та наявності значного досвіду проектування аналогічних об'єктів, широких знань в суміжних областях, побічно пов'язаних з даною ПО, щоденно вирішує значну кількість складних проектних задач. Проектні задачі, як правило, формалізовані не повністю, часто не мають повного набору необхідних проектних даних.

Якість вирішення проектної задачі повністю залежить від досвідченості експерта. Однак підготовка експерта це тривалий і дуже коштовний процес. Таким чином, впровадження ЕС в будівельне проектування, в яких повно і непротирічно представлені експертні знання, є конче необхідним, оскільки дозволить тиражувати експертні знання і одержувати проектні рішення, які по якості не поступаються тим, що приймаються експертами ПО.

Одним з основних і найвідповідальніших розділів процесу будівельного проектування є конструкторський розділ, який включає до свого складу вибір доцільних конструкцій для елементів спорудження, що проектується, їх розрахунок та конструювання. Відомо, що основним конструкційним матеріалом в будівництві є залізобетон. До 75% виробів, які виготовляються із залізобетону, є лінійними (колонни, балки і т.ін.). Отже, ПО "Проектування лінійних залізобетонних конструкцій" може розглядатися як галузь, яка містить в собі усі характерні риси будівельного проектування в цілому. Методи і моделі, застосовані і розроблені для представлення знань про дану ПО повністю відображують особливості, властиві іншим розділам будівельного проектування, і можуть бути використані при побудові інших ЕС будівельного проектування.

Таким чином, актуальними є дослідження методів представлення і обробки знань в ЕС будівельного проектування та вибір ПО "Проектування лінійних залізобетонних конструкцій" як ПО, що досліджується.

**Мета та задачі досліджень.** Метою дисертаційної роботи є дослідження і розробка методів та вибір моделей представлення і обробки знань в ЕС будівельного проектування та програмна реалізація їх у вигляді БЗ ЕС проектування лінійних залізобетонних конструкцій (ЕС КОНСТРУКТОР).

Основними задачами досліджень є:

- аналіз традиційного процесу будівельного проектування на прикладі ПО "Проектування лінійних залізобетонних конструкцій" і виявлення видів знань на різних етапах проектування, на базі яких формується проектне рішення і які повинні бути представлені в БЗ ЕС будівельного проектування;
- виявлення факторів, які впливають на прийняття проектного рішення і на процес представлення знань про будівельне проектування;
- аналіз та обґрунтування вибору моделей представлення знань для побудови ЕС будівельного проектування;
- адаптація концепції інформаційно-логічних моделей (ІЛМ) для опису моделі ПО в БЗ ЕС будівельного проектування на прикладі ПО "Проектування лінійних залізобетонних конструкцій";
- вибір та обґрунтування методів представлення і обробки знань про моделювання процесу будівельного проектування;
- вибір та обґрунтування методів представлення і обробки знань про правила і

аксіоми ПО, яка досліджується, про розрахунки та конструювання;

- вибір та обґрунтування методів представлення і обробки знань для організації дружнього інтерфейсу "Проектувальник - ЕС" та побудови пояснювальної компоненти ЕС будівельного проектування;

- створення на основі проведених досліджень БЗ ЕС проектування лінійних залізобетонних конструкцій (ЕС КОНСТРУКТОР), що включає представлення експертних знань про ПО, яка досліджується, у відповідних компонентах БЗ.

**Предмет досліджень.** Виявлення, структурування, формалізація, представлення та обробка експертних знань про проектування лінійних залізобетонних конструкцій в БЗ ЕС КОНСТРУКТОР.

**Об'єкт досліджень.** Процес проектування лінійних залізобетонних конструкцій.

**Методи досліджень.** Проведені в роботі дослідження ґрунтовані на використанні методів штучного інтелекту, теорії математичної логіки, апарату реляційної алгебри, методів системного аналізу, теорії прийняття рішень, апарату теорії формальних систем, теорії бетону і залізобетону, теорії опору матеріалів, теорії будівельної механіки.

#### **Наукова новизна:**

- запропонований та обґрунтований метод виявлення видів експертних знань і факторів, необхідних для представлення в БЗ ЕС будівельного проектування, який оснований на декомпозиції процесу проектування на окремі етапи та аналізі етапів з точки зору представлення знань;

- запропонований, обґрунтований та реалізований підхід по представленню і обробці знань про процес будівельного проектування на основі концепції ІЛМ;

- запропонований, обґрунтований та реалізований підхід по представленню і обробці предметних знань про ПО, що досліджується, на основі концепції ІЛМ;

- теоретично досліджений та реалізований підхід по організації дружнього інтерфейсу "Проектувальник - ЕС" і пояснювальної компоненти в ЕС будівельного проектування;

- запропонований, теоретично досліджений та реалізований підхід по комплексному рішенням проблеми конструювання перерізів лінійних залізобетонних конструкцій засобами ЕС, який включає підбір доцільного виду і геометричних розмірів перерізу лінійного залізобетонного елемента, який проектується; підбір та розставлення поздовжньої арматури.

Вищеперелічені результати **вносяться на захист.**

**Практична цінність роботи.** Розроблені в дисертації теоретичні положення, застосовані методи та вибрані моделі представлення та обробки знань в ЕС будівельного проектування і побудована на їх основі БЗ ЕС КОНСТРУКТОР, яка містить в собі сукупність формалізованих експертних знань про проектування лінійних залізобетонних

конструкцій, дозволяють підвищити якість проектних рішень, що приймаються, прискорити процес конструкторського проектування і навчати студентів будівельних ВУЗів та недосвідчених проектувальників.

**Реалізація результатів роботи.** Робота виконувалась в Київському філіалі Всесоюзного науково-дослідного інституту теорії архітектури і містобудування (тепер - НДПІАМ) в рамках заказів Державного комітету по архітектурі і містобудуванню:

- Розробити моделі та інструментальні засоби для створення експертних систем і інших підсистем з базами знань в САПР об'єктів цивільного будівництва (Держ. замовлення №18.2, 1987-1988рр., відповідальний виконавець);

- Експертна система автоматизованого проектування індустріальних залізобетонних виробів об'єктів цивільного будівництва із застосуванням інструментальних засобів типу "САПР - ЕКСПЕРТ" для ПЕОМ (Держ. замовлення №9-33-А/90-2, 1988-1990рр., відповідальний виконавець);

- Методичні принципи розробки експертних систем (штучного інтелекту) в галузі містобудування і районного планування (Договір №93-89, 1990-1991рр., відповідальний виконавець).

**Апробація роботи.** Основні результати досліджень, виконаних в дисертаційній роботі, доповідались та обговорювались на Всесоюзному науково-технічному семінарі "Створення та розвиток САПР в будівництві і підготовка кадрів для автоматизації проектування" (Москва, 1988 р.), на Міжнародній конференції "Нові інформаційні технології" (Твер, 1990 р.), на III Міжнародній науково-технічній конференції по програмному забезпеченню (Твер, 1990 р.), на V Національній конференції з міжнародною участю "Штучний інтелект-96" (Казань, 1996 р.).

**Публікації.** По темі дисертації опубліковані 10 робіт, видано 3 звіти по НДР.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, чотирьох глав, висновків по главах, заключення, додатка та списку використаної літератури. Загальний обсяг основного тексту складає 191 сторінку, в т.ч. 14 малюнків та 7 таблиць. Список літератури складається з 106 найменувань.

## ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обгрунтована актуальність теми, відмічено вклад вчених у становлення та розвиток теорії і практики побудови ЕС будівельного проектування і методів представлення та обробки знань, сформульовані цілі і основні задачі досліджень, показана наукова новизна і практична цінність одержаних результатів та викладено короткий зміст роботи.

**У першій главі** проведений аналіз традиційного процесу проектування лінійних залізобетонних конструкцій, який має усі якісні характеристики та особливості процесу будівельного проектування в цілому. Проаналізована проблема представлення знань

експерта ПО "Проектування лінійних залізобетонних конструкцій". Подана порівняльна характеристика виявлених якісних відмінностей у кваліфікації експерта та зазначеного проектувальника, які впливають на ефективність отриманих проектних рішень. Виявленими якісними характеристиками знань експерта поставлені у відповідність необхідні властивості БЗ ЕС будівельного проектування.

Для виявлення видів знань, які використовує експерт в процесі проектування, виконаний аналіз традиційного процесу проектування лінійних залізобетонних конструкцій.

По змісту процес проектування, який аналізується, включає наступні етапи: аналіз проектної ситуації; вирішення проектної задачі та формування проектного рішення.

Приведена ілюстративна схема співвідношення процесу будівельного проектування та видів знань, які використовуються на кожному етапі проектного процесу.

Етап "Аналіз проектної ситуації" включає в себе постановку проектної задачі і перехід від реального об'єкту проектування до розрахункової схеми. На даному етапі експерт, з одного боку, враховує вимоги до проектних даних, які регламентують доцільні (рекомендовані) діапазони значень проектних даних для різноманітних проектних ситуацій, з іншого боку, використовує знання по формуванню проектних даних, необхідних і достатніх для рішення конкретної проектної задачі; знання по вибору доцільних параметрів проектних даних; знання по формуванню розрахункової схеми конструкції, що проектується. Виявлені вимоги і види знань необхідні для представлення знань при організації дружнього інтерфейсу "Проектувальник - ЕС".

Етап "Рішення проектної задачі" включає аналіз проектної задачі і синтез проектного рішення. На стадії аналізу проектної задачі експерт використовує знання по декомпозиції різноманітних проектних задач до рівня атомарних задач з урахуванням співвідношення розрахункових і конструкторських проектних операцій. На стадії синтезу проектного рішення експерт використовує три види знань: знання про стратегії рішення проектних задач; специфічні знання про ПО, яка досліджується; знання про оцінку проміжних результатів рішення проектних задач; знання про пріоритетність зміни проектних даних. Знання про стратегії рішення проектних задач (метазнання) дозволяють експерту формувати доцільну послідовність дій при рішенні різноманітних проектних задач і містять правила формування проектної задачі з взаємопов'язаних атомарних задач, набір яких одержаний на стадії аналізу проектної задачі. Цей вид знань необхідний для представлення при формуванні бази метазнань (БМЗ) БЗ ЕС. Специфічні знання про ПО (предметні знання) включають знання про саме проектування лінійних залізобетонних конструкцій. В їх складі виділяються процедурні знання (про рішення атомарних розрахункових задач), процедурно-декларативні знання (про рішення атомарних задач конструювання) і декларативні знання (конкретні факти ПО, які формують базу даних). Процедурні знання необхідні для представлення в процедурній базі (ПБ); процедурно-

декларативні знання - в базі правил і аксіом (БПА); декларативні знання - в базі даних (БД) БЗ ЕС. Знання по оцінці проміжних результатів рішення проектних задач використовуються експертом для перевизначення проектних даних у випадках, коли їх значення інтуїтивно не викликають довіри. Для перевизначення проектних даних необхідні знання про пріоритетність змінення проектних даних. Ці знання відображають вплив різноманітних проектних параметрів на шуканий параметр. Зазначені види знань необхідні для представлення в БПА та при організації дружнього інтерфейсу "Проектувальник - ЕС".

На етапі "Формування проектного рішення" використовуються набір вимог до проектних рішень і знання по інтерпретації, оцінці та поясненню проектних рішень. Набір вимог до проектного рішення включає вимоги розрахункового, конструктивного і економічного характеру, які пред'являються до елементів даного класу конструкцій при рішенні проектних задач. Названі вимоги несхідні для представлення в БПА БЗ ЕС. Проектне рішення, як результат проектування, потребує обґрунтування, оцінки та інтерпретації. Обґрунтування проектного рішення передбачає пояснення одержаного результату. Пояснення проектного рішення можливо тільки за умови його правильної оцінки та інтерпретації. Оцінка проектного рішення дозволяє констатувати задоволення (або незадоволення) цілі проектної задачі; інтерпретація дозволяє встановити ступінь вірогідності проектного рішення і одержати об'єктивний висновок про його якість. Названі знання необхідні для представлення в базі пояснень (БП) БЗ ЕС.

Для досягнення адекватного моделювання діяльності експерта при рішенні проектних задач виявлені та охарактеризовані дві групи факторів, які впливають на характеристики ЕС і на процес прийняття проектних рішень експертом.

Перша група факторів відображає активний вплив особливостей ПО, яка досліджується, на основні характеристики ЕС. Виявлені чотири характеристики ЕС будівельного проектування: статична ЕС по типу ПО, яка досліджується; динамічна ЕС по характеру проектних даних; глибинна ЕС по реалізованих стратегіях рішення проектних задач; гібридна (інтегрована) ЕС по типу методів і знань, що використовуються. Сполучення характеристик "Статична ЕС по типу ПО, що досліджується" і "Динамічна ЕС по характеру проектних даних" дозволяє класифікувати ЕС будівельного проектування як динамічну ЕС. Сукупність приведених характеристик (динамічна ЕС, глибинна ЕС, гібридна ЕС) дозволяє віднести ЕС будівельного проектування до класу складних ЕС. Фактори, що входять до складу першої групи, враховані в процесі представлення знань в БЗ ЕС і покладені в основу процесу проектування, який здійснюється засобами ЕС.

Друга група факторів включає в себе чотири види факторів: фактор ризику; фактор проектної школи (інституційного досвіду); регіональних обмежень по матеріалах; архітектурно-планувальні і естетичні обмеження. Ці фактори відносяться до розряду Ні-факторів. Названі види факторів враховані в процесі представлення знань в ПБ, БПА та

при організації дружнього інтерфейсу "Проектувальник - ЕС".

Таким чином, вищезазначені знання, необхідні для моделювання процесу проектування лінійних залізобетонних конструкцій, і фактори, які впливають на проектний процес, являють собою комплекс знань, які потрібні для представлення в БЗ ЕС будівельного проектування.

З метою вибору доцільних моделей представлення знань (МПЗ) виконано порівняльний аналіз основних МПЗ, які знайшли поширення при побудові ЕС: мережевих, фреймових, продукційних та логічних моделей, і проаналізовано вплив специфіки ПО, яка досліджується, та особливостей формування БЗ ЕС на процес мотивованого вибору МПЗ.

По результатах аналізу МПЗ з позицій ПО, що досліджується, основною МПЗ прийнята логічна модель.

По результатах аналізу МПЗ з точки зору особливостей формування БЗ ЕС вибрані допоміжні МПЗ для представлення знань про ПО: модель семантичної мережі (для представлення знань про процес рішення проектних задач); реляційні моделі (для представлення фактів ПО в БД).

Проаналізовані особливості впровадження технології ЕС в будівельне проектування, дана характеристика найбільш відомих існуючих ЕС будівельного проектування.

**В другій главі** описана архітектура БЗ ЕС КОНСТРУКТОР, розглянуті питання представлення знань про процес проектування лінійних залізобетонних конструкцій в БЗ, що поєднує представлення знань про модель ПО, яка досліджується; про експертні знання щодо моделювання процесу вирішення різноманітних проектних задач (метазнання); про знання, необхідні для побудови дружнього інтерфейсу "Проектувальник - ЕС"; про знання щодо пояснення результатів проектного рішення.

При побудові ЕС великого значення набувають питання представлення знань про модель ПО, яка досліджується. Проаналізовані недоліки використання деяких МПЗ для опису моделі ПО. Показана відмінність проблеми опису моделі ПО для традиційних і гібридних ЕС. Відзначено, що в гібридних ЕС для представлення знань про модель ПО необхідно застосувати МПЗ, яка поєднує в собі можливості представлення і обробки символічної та числової інформації. Такі можливості має логічна модель. Наведено переваги застосування логічної моделі для опису моделі ПО. Підкреслено, що вони досягаються завдяки можливостям мови логічного програмування Turbo-Prolog, яка застосована для реалізації ЕС.

Для опису моделі ПО "Проектування лінійних залізобетонних конструкцій" в БЗ ЕС КОНСТРУКТОР застосована концепція інформаційно-логічних моделей (ІЛМ). Загальний опис ПО "Проектування лінійних залізобетонних конструкцій" міститься в узагальненій ІЛМ проектної ситуації (узагальнена ІЛМ ПС - надалі ІЛМ), яка характеризується певним змістом та внутрішньою структурою. За змістом ІЛМ складається у відповідності із наявною

семантикою ПО, яка досліджується, з наступних розділів: функціональне призначення конструкції та умови її експлуатації; геометрія нормального перерізу елемента; геометрія похилого перерізу елемента; армування нормального перерізу елемента; армування похилого перерізу елемента; зовнішні дії на конструкцію; внутрішні зусилля, які діють у перерізі елемента; матеріали виготовлення конструкції; параметри несучої спроможності елемента; напружено-деформований стан елемента; ресурсно-економічні показники конструкції, що проектується. У кожному розділі ІЛМ міститься набір предикатів, який повно і непротивірно характеризує відповідну галузь опису моделі ПО, що досліджується. За структурою ІЛМ включає ІЛМ проектної ситуації (ІЛМ ПС) і ІЛМ проектного рішення (ІЛМ ПР). При рішенні проектних задач використовується ІЛМ ПС як проекція ІЛМ, що містить в собі набір предикатів, які описують сформульовану проектну задачу і дані, необхідні і достатні для її вирішення. ІЛМ ПР формується в процесі рішення проектної задачі і містить в собі предикати, які описують проектні результати, одержані в процесі рішення задачі. В свою чергу ІЛМ ПС складається з ІЛМ об'єкта проектування (ІЛМ ОП) і ІЛМ проектної задачі (ІЛМ ПЗ). ІЛМ ОП містить в собі набір предикатів, який повно і непротивірно описує необхідні проектні дані. ІЛМ ПЗ включає до свого складу предикат, який характеризує тип вирішуємої задачі.

Описані особливості виявлення, формалізації і представлення знань про модель ПО, що досліджується. Представлення знань в ІЛМ проілюстровано на прикладі формування предикатів, які входять до складу розділу "Матеріали виготовлення конструкції".

Моделювання процесу проектування, а також обробка ІЛМ та інших знань, представлених в БЗ ЕС, здійснюється за допомогою метазнань, які входять до складу БМЗ і формалізують експертні стратегії вирішення різноманітних проектних задач.

Концептуальне відображення процесу проектування здійснено за допомогою моделі семантичної мережі, ієрархічна структура якої відповідає послідовності дії експерта при рішенні проектних задач. Приведений фрагмент семантичної мережі, що описує процес проектування, в якій термінальні вершини містять предметні змінні предикатів ІЛМ ОП; нетермінальні вершини - метазнання, які використовують ефективні унікальні процедури і правила (одержані в результаті декомпозиції різноманітних проектних задач до рівня проектних операцій) або факти, при виконанні яких конкретизуються предметні змінні відповідних предикатів ІЛМ ПР; дуги описують характер використання проектних параметрів у процесі рішення проектних задач і взаємозв'язки, які існують між метазнаннями. Сукупність зв'язаних дуг і вершин відповідає набору метазнань. Для представлення метазнань в БМЗ використана логічна модель. В якості математичного апарату використано багатосортне обчислення предикатів першого порядку.

Для адекватного опису різноманітних проектних ситуацій при представленні знань



Дружній інтерфейс "Проектувальник - ЕС" включає до свого складу лінгвографічний діалог (ЛГД) і підсистему пояснень (ПСП). Проаналізовані проблеми, які повинні вирішуватись при побудові інтерфейсу, розглянуті вимоги до діалогового інтерфейсу, описані рівні структури діалогу (глобальний, тематичний, локальний) тощо.

Основним призначенням ЛГД є формування середовища постановки проектної задачі, яке повинне моделювати та враховувати особливості традиційного процесу проектування (при цьому відбувається заповнення множин істинності відповідних предикатів ІЛМ ПС) та відображення результатів проектування у вигляді, який дозволяє користувачу ЕС однозначно інтерпретувати їх якість (при цьому відбувається обробка предикатів ІЛМ ПР).

Описана глобальна структура ЛГД. Проаналізовані особливості виконання етапів, які входять до складу глобальної структури ЛГД і пов'язані з обробкою ІЛМ; розглянуті питання розподілу ініціативи між користувачем і ЕС.

Основні проблеми, які вирішуються при представленні знань, необхідних для організації ЛГД, пов'язані з визначенням типу проектної і формуванням набору проектних даних, необхідних і достатніх для вирішення проектної задачі. Це зумовлює доцільність побудови ЛГД у вигляді двох компонент: (i) компоненти формування типу проектної задачі та (ii) компоненти формування набору необхідних проектних даних. Кожна компонента ЛГД визначається власною структурою діалогу. Для описання структури діалогу компоненти (i) використовується ієрархічне деревинне представлення і ця компонента іменується деревинною компонентою ЛГД (ДК ЛГД); для компоненти (ii) - мережеве представлення і вона іменується мережевою компонентою ЛГД (МК ЛГД).

Для представлення знань, необхідних для побудови ЛГД, використана логічна модель. В якості математичного апарату використано багатосортне обчислення предикатів першого порядку.

Структура ДК ЛГД відображає структурування задач, що вирішуються, виконане з урахуванням взаємозв'язків, які існують між змістом проектних процедур і задачами ПО.

Наведені ілюстрації, які характеризують структуру та зміст ДК ЛГД, що реалізовані в ЕС КОНСТРУКТОР. Дуги деревинної структури ДК ЛГД описують альтернативи розвитку діалогу. Вершини - зміст конкретних кроків діалогу. Під кроком діалогу мається на увазі елементарна дія ЕС в процесі діалогу і відповідна їй реакція користувача. Термінальні вершини деревинної структури ДК ЛГД містять перелік задач, які в результаті виконаного структурування віднесені до єдиного типу. Нетермінальні вершини містять фрагменти діалогу, які описують суттєво важливі ключові етапи постановки проектної задачі.

ДК ЛГД реалізована у вигляді системи "меню". Знання про структуру і зміст ДК ЛГД представлені набором предикатів, кожний з яких описує окрему нетермінальну вершину, її зміст, зв'язність з інцидентними вершинами, розташованими нижче, і їх тип.

Наведені змістовні приклади представлення знань для різних вершин структури ДК ЛГД. Описані питання реалізації на мові Turbo-Prolog рекурсивного процесу обробки знань про структуру ДК ЛГД, який забезпечує ефективне просування по її структурі і завершується вибором користувачем типу проектної задачі, який формує множини істинності предикату ІЛМ ПЗ.

Структура МК ЛГД відображає взаємозв'язки між типом проектної задачі і унікальними фрагментами діалогу, які забезпечують запит конкретних проектних даних, необхідних для вирішення задачі. Для збору унікальних фрагментів діалогу до доцільної діалогової послідовності використовуються знання, які описують послідовність запиту проектних даних, адекватну особливостям ПО, що досліджується.

Наведена ілюстрація, яка відображає фрагмент мережевої структури МК ЛГД. В якості термінальних вершин мережі виступають типи проектних задач, в якості нетермінальних вершин - унікальні фрагменти діалогу, в якості дуг - взаємозв'язки, які існують між типами проектних задач і фрагментами діалогу. Ієрархічність представлення мережі досягається за рахунок відображення на мережі знань, які описують доцільну послідовність запиту проектних даних, адекватну особливостям ПО.

Структура МК ЛГД представлена в БЗ у вигляді списку списків, який є предметною змінною відповідного предикату. Упорядкованість підсписків у списку списків відображає знання про доцільну послідовність запиту проектних даних. Кожний підсписок містить два типи елементів: голову списку, яка описує унікальний фрагмент діалогу (нетермінальну вершину мережі), в процесі виконання якого визначається значення вхідного проектного даного, яке формує множини істинності відповідного предикату ІЛМ ОП; і хвіст списку, який включає набір типів проектних задач (термінальні вершини, дугами пов'язані з нетермінальною вершиною), для вирішення яких необхідне зазначене проектне дане.

Наведений змістовний приклад представлення знань про структуру МК ЛГД. Показана програмна реалізація на мові Turbo-Prolog і докладно описаний рекурсивний процес обробки знань про структуру МК ЛГД, який забезпечує повний перегляд структури мережі з формуванням доцільної діалогової послідовності і текстова-графічну інтерпретацією фрагментів діалогу, які входять до складу діалогової послідовності. В процесі інтерпретації формуються текстові анкети і меню, статичні і динамічні графічні образи, які враховують ергономічні вимоги до інтерфейсу, створюють ефективне середовище для комунікації проектувальника з ЕС і за їх допомогою забезпечується заповнення множин істинності предикатів ІЛМ ОП. В процесі діалогу аксіоми БПА виконують верифікацію значень проектних даних, які задаються користувачем ЕС.

Основним призначенням ПсП є забезпечення процесу пояснення проектних результатів, одержаних засобами ЕС. Приведені вимоги до пояснень, а також умови, яким повинні відповідати пояснення, що подаються. Проаналізовані питання повноти подання

пояснень засобами ПсП та вибору і розробки методів формування пояснень.

Методи формування пояснень засновані на використанні траси рішення конкретної проектної задачі (див. опис внутрішньої структури МЗ - "Предикат траси") і на понятті "Примітивна дія ПсП". Під примітивною дією мається на увазі мінімальний фрагмент процесу рішення задачі, який підлягає поясненню. Показано, що траса рішення задачі програмно формується в результаті виконання послідовності метазнань БМЗ, які описують процес вирішення проектної задачі засобами ЕС. Обґрунтовано, що примітивна дія ПсП співпадає з поясненням результатів виконання конкретного метазнання. Методи формування текстів пояснень засновані на сполученні використання пояснень-шаблонів і пояснень, що генеруються.

Показано, що для забезпечення повноти обґрунтування проектного рішення засобами ПсП виконуються пояснення-відповіді на три запитання: "чому?", "як?" і "що?". Відповідь на питання "чому?" інтерпретується як: "чому одержано саме таке значення шуканого проектного параметру?". Відповідь на питання "як?" інформує користувача ЕС, які (і в якій послідовності) правила і процедури ПО використані в процесі рішення задачі. Відповідь на питання "що?" показує, які проектні операції були виконані в процесі рішення проектної задачі.

На прикладі формування пояснень на питання "чому?" розглянуті особливості програмної реалізації ПсП на мові Turbo-Prolog і методи генерації пояснень. Показано, що в процесі генерації пояснень відбувається обробка предикатів ІЛМ ПС та ІЛМ ПР.

Знання, необхідні для побудови ПсП містяться в базі пояснень (БП), компоненті БЗ ЕС. Для представлення знань в БП використана логічна модель. В якості математичного апарату використано багатосортне обчислення предикатів першого порядку.

Наведені змістовні приклади представлення знань щодо пояснень на питання "чому?", "як?" і "що?". Показано, що інтегровано пояснення на ці питання дозволяють повно і на різних рівнях абстракції обґрунтувати проектне рішення.

**Третя глава** присвячена питанням представлення предметних знань про ПО, яка досліджується, в БЗ ЕС КОНСТРУКТОР. До предметних знань належать процедурно-декларативні знання ПО, процедурні знання ПО і декларативні знання ПО.

Процедурно-декларативні знання ПО включають до свого складу правила і аксіоми ПО, які формують БПА, компоненту БЗ ЕС.

Для представлення правил і аксіом в БПА використана логічна модель. В якості математичного апарату використано багатосортне обчислення предикатів першого порядку.

Аксіоми ПО описують добре формалізовані знання, які відображають вимоги нормативних документів ПО до значень проектних параметрів, що формують множину істинності предикатів ІЛМ ОП та ІЛМ ПР. Аксіоми використовують наявну в ІЛМ інформацію про конструкцію, що проектується, для перевірки значень проектних

параметрів, які задаються користувачем або визначаються засобами ЕС.

Аксиоми БПА поставлені у відповідність з розділами ІЛМ. Призначення аксіом визначається змістом конкретного розділу. Наприклад, розділу ІЛМ "Функціональне призначення конструкції та умови її експлуатації" відповідають аксиоми по перевірці належності залізобетонної конструкції, яка проектується, до класу лінійних; по перевірці значень коефіцієнтів умов роботи бетону та арматури тощо. Розділу ІЛМ "Геометрія нормального перерізу елементу" відповідають аксиоми по перевірці коректності завдання розмірів поперечного перерізу конструкції в залежності від виду профілю і т.ін. Зазначені аксиоми мають формат предикатних формул зі зв'язаними змінними.

Для перевірки значень предметних змінних предикатів деяких розділів ІЛМ (наприклад, "Параметри несучої спроможності елементу") використовуються аксиоми, які містять розрахункові і емпіричні співвідношення, за допомогою яких відбувається верифікація значень проектних параметрів, що задаються користувачем.

Приведені змістовні приклади представлення аксіом на мові Turbo-Prolog.

Правила ПО описують важко формалізовані знання про проектування лінійних залізобетонних конструкцій. До таких знань належать знання про призначення доцільних параметрів проектних даних, знання про пріоритетність перевизначення параметрів проектних даних, правила конструювання, тощо. Правила БПА формалізують неявні взаємовпливові залежності, які існують між проектними параметрами і за їх допомогою генерують доцільні значення окремих проектних параметрів.

Окремі правила, представлені в БПА, мають формат правил продукцій (наприклад, правила конструювання; правила, які описують пріоритетність перевизначення параметрів проектних даних тощо). Інші правила засновані на використанні ефективних емпіричних і розрахункових співвідношень (наприклад, правила визначення доцільних параметрів класу і виду бетону, класу арматури, розмірів елементів профілю перерізу тощо).

Наведені приклади розрахункових співвідношень, які використовуються в якості правил БПА, подані приклади представлення правил на мові Turbo-Prolog.

Процедурні знання ПО включають до свого складу процедури ПО - добре структуровані знання про розрахунки лінійних залізобетонних конструкцій по двох групах граничних станів без врахування ефекту попереднього напруження. Процедури ПО представлені в ПБ, компоненті БЗ ЕС. За допомогою процедур ПО відбувається оцінка засобами ЕС перерізів конструкції, що проектується, по несучій спроможності і по придатності до нормальної експлуатації.

Докладно описаний склад процедурних знань і перелік розрахункових задач, знання про рішення яких представлені в процедурах ПБ.

ПБ містить сукупність унікальних процедур ПО, кожна з яких визначає конкретний проектний параметр, сформовану в результаті декомпозиції всіляких проектних задач.

Процедури ПБ реалізовані в середовищі мови Turbo-C. В БЗ кожна процедура інтерпретується як предикат і для її підключення використовується стандартний інтерфейс Turbo-Prolog - Turbo-C. Описані особливості застосування зазначеного інтерфейсу в БЗ.

Декларативні знання ПО включають до свого складу формалізовану нормативно-довідкову інформацію ПО (характеристики матеріалів, які використовуються, різноманітні розрахункові коефіцієнти, іншу фактографічну інформацію, яка використовується в процесі проектування). Декларативні знання містяться в БД, компоненті БЗ ЕС.

Для забезпечення ефективності обробки декларативних знань в процесі їх представлення використано сполучення логічної і реляційної моделей. Показано, що це досягається завдяки можливостям реляційної мови Turbo-Prolog.

Знання в БД представлені як у вигляді набору фактів, так і правил по обробці фактів. Ці правила враховують взаємозалежності, що існують між характеристиками матеріалів, коефіцієнтами і т.ін. Приведені змістовні приклади представлення знань в БД на мові Turbo-Prolog про нормативні і розрахункові характеристики бетону і арматури.

**В четвертій главі** розглянуті питання представлення знань в БЗ ЕС КОНСТРУКТОР про конструювання лінійних залізобетонних конструкцій.

Під конструюванням лінійних залізобетонних конструкцій розуміється виконання засобами ЕС наступних функцій: підбір доцільного виду і геометричних розмірів найбільш поширених видів поперечних перерізів (двотаврових, таврових, прямокутних, квадратних); підбір та розставлення поздовжньої арматури в названих видах поперечних перерізів.

Для представлення знань про конструювання використана логічна модель. Формалізовані знання про конструювання містяться в БПА БЗ ЕС КОНСТРУКТОР. Процес конструювання реалізований на мові Turbo-Prolog.

Процес конструювання формально описується трійкою:  $R = \langle Q, P, Z \rangle$ , де  $Q$  - скінченна множина проектних параметрів, які характеризують лінійні залізобетонні конструкції;  $P$  - скінченна множина правил конструювання;  $Z$  - виділена із множини  $Q$  підмножина, яка описує набір проектних параметрів, необхідних для рішення проектною задачі. Розглянутий склад кожної множини. Множина  $Q$  є підмножиною узагальненої ІЛМ ПС і співпадає з алфавітом формальної системи  $R$ . Множина  $Z$  включає до свого складу ІЛМ ОП та ІЛМ ПЗ і співпадає з аксіомами системи  $R$ . Множина  $P$  є правилами висновку в формальній системі  $R$ . Процес конструювання полягає в упорядкованому послідовному застосуванні правил множини  $P$  до елементів множини  $Z$  і  $Q$ , в результаті якого формується рішення задачі конструювання. Процес представлення знань про конструювання полягає в формуванні множини правил  $P$ .

Проаналізована проблема підбору доцільного виду профілю і геометричних параметрів перерізу лінійних залізобетонних конструкцій. Методи рішення цієї проблеми не описані в спеціальній літературі і проектувальники, як правило, здійснюють вибір виду

профілю і призначення геометричних параметрів перерізу "із загальних міркувань", що призводить до неякісних проектних рішень. Описані передумови, які покладені в основу підбору виду профілю. Показано, що підбір доцільних параметрів профілю відбувається при умові забезпечення рекомендованого одиночного армування перерізу, яке досягається за рахунок повноцінного використання стиснутої зони бетону шляхом формування звисів полук в стиснутій зоні перерізу. Приведена ілюстрація, яка характеризує підхід, прийнятий для виконання процесу підбору параметрів перерізу лінійних залізобетонних конструкцій.

Описана математична модель підбору параметрів перерізу. Наведені математичні співвідношення, за допомогою яких визначаються геометричні розміри ребра та полук профілю поперечного перерізу лінійних залізобетонних конструкцій. Описана послідовність виконання процесу підбору виду і геометричних параметрів профілю поперечного перерізу.

Детально описані питання представлення та обробки знань про підбір параметрів профілю поперечного перерізу. В процесі рекурсивного підбору параметрів перерізу відбувається аналіз елементів перерізу, які розташовані в стиснутій зоні перерізу. Для кожного елемента за допомогою формалізованих математичних співвідношень і правил конструювання в процесі обробки знань рекурсивно визначаються доцільні значення розмірів звисів полук (якщо з'ясовано, що необхідне збільшення стиснутої зони бетону), або ребра, при яких коефіцієнт армування перерізу досягає свого оптимального значення (1%÷2%). На базі визначених розмірів елементів перерізу формується вид профілю, який є доцільним в даній проектній ситуації. Наведені змістовні приклади представлення та обробки зазначених знань в середовищі мови Turbo-Prolog.

Процес підбору параметрів профілю здійснюється з урахуванням обмежень, які може задати користувач (обмежень по геометричних розмірах перерізу; виду профілю). Завдяки цьому процес підбору параметрів профілю включає: підбір виду профілю і геометричних параметрів перерізу (при заданих обмеженнях габаритних розмірів або розмірів деяких елементів перерізу) і підбір геометричних параметрів перерізу (при заданому виді профілю). Одержані результати конструювання відображаються засобами ЛГД у звичному для проектувальника графічному вигляді.

Наведені ілюстрації результатів підбору засобами ЕС КОНСТРУКТОР параметрів різних видів профілів поперечного перерізу лінійних залізобетонних конструкцій, які демонструють найбільш ефективні конструктивні рішення в даній проектній ситуації.

Однією з найвідповідальніших задач конструювання є задача підбору та розставлення поздовжньої арматури у перерізах лінійних залізобетонних конструкцій. Складність цієї задачі полягає в необхідності додержання проектувальником численних правил конструювання, правильне і повне застосування яких потребує значного конструкторського досвіду.

Сутність задачі підбору та розставлення поздовжньої арматури полягає в

упорядкованому застосуванні правил конструювання для розподілення потрібної площі поздовжньої арматури по перерізу конструкції з метою забезпечення несучої спроможності і придатності до нормальної експлуатації лінійної залізобетонної конструкції, що проектується.

Приведені виявлені правила конструювання, які використовуються в процесі підбору і розставлення поздовжньої арматури. Показано, що в процесі виявлення правил враховувались вимоги, які характеризують вплив різних проектних параметрів на процес конструювання. Відображені і охарактеризовані співвідношення вимог і відповідних елементів множини правил **P** (див. формальний опис процесу конструювання), зроблені посилання на релевантні правила конструювання, які використовуються в процесі підбору та розставлення поздовжньої арматури. Показано, що врахування зазначених вимог за рахунок упорядкованого застосування відповідних правил конструювання призводить до одержання єдиного конструктивного рішення на заданій множині вхідних даних, яке задовольняє усі правила конструювання.

Надана загальна характеристика предикатів ІЛМ, які описують поздовжню арматуру. Зазначені предикати характеризують клас поздовжньої арматури, рядність ариування, кількість стержнів у кожному арматурному ряду, значення діаметрів і прив'язки стержнів.

Процес підбору та розставлення поздовжніх стержнів виконується окремо для розтягнутої і стиснутої арматури. При цьому вирішення цієї задачі для стиснутої арматури здійснюється на основі конструктивних рішень, прийнятих в процесі підбору та розставлення розтягнутої поздовжньої арматури.

Задача підбору та розставлення необхідної (розтягнутої/стиснутої) поздовжньої арматури включає до свого складу три взаємопов'язані підзадачі: підбір стержнів поздовжньої арматури; розподілення підібраних стержнів по елементах перерізу конструкції; розставлення арматурних стержнів в перерізі залізобетонної конструкції.

Процес підбору стержнів поздовжньої арматури відбувається послідовно від формування першого арматурного ряду до формування ряду, площа арматурних стержнів якого (з урахуванням площ стержнів, які розміщені в попередніх рядах) дозволяє сумарно досягти потрібної площі арматури.

Процес підбору стержнів поздовжньої арматури включає підбір кількості стержнів в арматурному ряді, підбір номінальних значень діаметрів і визначення кількості рядів поздовжньої арматури у відповідній зоні (розтягнутій/стиснутій) перерізу лінійної залізобетонної конструкції, що проектується.

Надані змістовні приклади представлення і наведені та описані ключові етапи обробки знань в середовищі мови Turbo-Prolog про процес підбору поздовжньої арматури, який заснований на послідовному упорядкованому використанні відповідних правил конструювання. Докладно описаний процес рекурсивного підбору кількості стержнів в ряду

та їх діаметрів і переходу (якщо потрібна площа арматури не вичерпана) до наступного арматурного ряду. В ході цього процесу відбувається поступове нарощування кількості стержнів у ряду (від мінімально до максимально можливого) з перевизначенням діаметрів арматури та перевіркою поточних конструктивних рішень на їх відповідність формалізованим правилам конструювання, які стосуються процесу підбору. Підбір арматурних стержнів проводиться з мінімізацією перевитрати потрібної площі арматури. Підібрані кількість і діаметри арматурних стержнів формують множини істинності відповідних предикатів ІЛМ ПР.

Детально розглянуті особливості представлення знань про процес підбору поздовжньої арматури для різних проектних ситуацій.

Представлення та обробка знань про процес розподілення поздовжніх стержнів по елементах перерізу (ребру, звисах полках) спрямовані на визначення допустимої кількості стержнів, яку з позицій правил конструювання можливо розмістити в межах ребра та полки перерізу частини конструкції, яка розглядається. При цьому здійснюється перевірка на парність підбраної кількості стержнів у даному ряді і кількості стержнів, розподілених на відповідні елементи перерізу в попередньому арматурному ряді (або, якщо розглядається перший ряд, максимальної кількості стержнів, яку можливо розмістити в межах ребра та полки).

Докладно описаний процес представлення знань про розподілення поздовжніх стержнів по елементах перерізу та приведені змістовні приклади реалізації процесу обробки представлених знань в середовищі мови Turbo-Prolog.

Розставлення стержнів поздовжньої арматури в перерізі залізобетонної конструкції передбачає надання номера і визначення координат для кожного арматурного стержня.

Процес представлення та обробки знань про розставлення стержнів враховує результати попередніх етапів конструювання і полягає в застосуванні правил конструювання, які у відповідності з виконаним розподіленням стержнів по елементах перерізу визначають доцільні прив'язки стержнів поздовжньої арматури та формують їх порядкові номери. Визначені номери і прив'язки стержнів поздовжньої арматури формують множини істинності відповідних предикатів ІЛМ ПР. Одержані результати підбору та розставлення поздовжньої арматури відображаються засобами ЛГД в звичному для проектувальника графічному вигляді.

Представлення та обробка знань про розставлення поздовжньої арматури проілюстровані численними прикладами на мові Turbo-Prolog. Опис процесу представлення та обробки знань про підбор та розставлення поздовжньої арматури супроводжується характеристикою особливостей врахування відповідних правил конструювання.

Приведені ілюстрації результатів підбору і розставлення стержнів поздовжньої арматури в різних видах профілів поперечного перерізу лінійних залізобетонних

конструкцій засобами ЕС КОНСТРУКТОР, які демонструють якість одержаних конструктивних рішень, що відповідають усім вимогам правил конструювання.

**В заключенні** подані основні висновки по роботі. Наведені наукові і практичні результати дисертації.

**В додатку** наведені довідки про впровадження результатів дисертаційної роботи.

### **ОСНОВНІ ВИСНОВКИ РОБОТИ**

Основним результатом дисертаційної роботи є дослідження, розробка, вибір та адаптація методів і моделей представлення та обробки знань, які доцільно використовувати при побудові ЕС будівельного проектування. В роботі доведено, що зазначені методи і моделі дозволяють забезпечити адекватне представлення і ефективну обробку різноманітних знань про будівельне проектування та моделювати процес будівельного проектування відповідно особливостям традиційного проектного процесу.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Запропонований та обґрунтований метод виявлення видів експертних знань, які використовуються в процесі будівельного проектування і необхідні для представлення в БЗ ЕС. Досліджені і виявлені фактори, які впливають на процес прийняття проектних рішень та на характеристики ЕС будівельного проектування.

2. Запропонований, обґрунтований та реалізований підхід по представленню і обробці знань про процес будівельного проектування на основі адаптації концепції ІЛМ.

3. Теоретично досліджені, розроблені та реалізовані методи організації лінгво-графічного діалогу "Проектувальник - ЕС".

4. Теоретично досліджені, розроблені та реалізовані методи організації пояснювальної компоненти в ЕС будівельного проектування.

5. Запропонований, обґрунтований та реалізований підхід по представленню і обробці предметних знань про ПО, яка досліджується, в галузі будівельного проектування на основі концепції ІЛМ.

6. Запропоновані, теоретично досліджені та реалізовані методи рішення творчих задач будівельного проектування на прикладі комплексного вирішення проблеми конструювання перерізів лінійних залізобетонних конструкцій засобами ЕС, який включає підбір доцільного виду і геометричних розмірів перерізу лінійного залізобетонного елемента, що проектується; підбір та розставлення поздовжньої ариатури.

**Основні результати дисертації опубліковані в наступних роботах:**

1. Яловец А.Л., Наумова Н.В., Попова Н.М. Особенности формирования лингвистической базы знаний экспертной системы автоматизированного проектирования линейных железобетонных элементов // Прикладная информатика в архитектуре и градостроительстве.- К.: КиевНИИТАГ, 1989. - С.76-86.

2. Лихогруд Н.Г., Малачевский Л.Д., Яловец А.Л. Представление знаний о предметной области "Проектирование линейных железобетонных элементов" в базе знаний экспертной системы КОНСТРУКТОР // Прикладная информатика в архитектуре и градостроительстве. - К.: КиевНИИТАГ, 1990. - С.69-86.

3. Лихогруд Н.Г., Яловец А.Л. Информационно-логическая модель линейных железобетонных элементов в экспертной системе КОНСТРУКТОР // Автоматизация проектирования объектов гражданского строительства.-К.: КиевЗНИИЭП, 1990. - С.94-106.

4. Яловец А.Л. О формализации подбора размеров полок в балках таврового и двутаврового профиля // Автоматизация проектирования объектов гражданского строительства. - К.: КиевЗНИИЭП, 1990. - С.106-109.

5. Яловец А.Л. Особенности представления и обработки знаний о конструировании железобетонных балок в экспертной системе КОНСТРУКТОР // Прикладная информатика в архитектуре и градостроительстве. - К.: КиевНИИТАГ, 1990. - С.104-135.

6. Лихогруд Н.Г., Яловец А.Л. Аналитический обзор инструментальных средств представления знаний в экспертных системах // Автоматизация проектирования объектов гражданского строительства.- К.: КиевЗНИИЭП, 1992.-С.17-29.

7. Яловец А.Л. Анализ процесса проектирования линейных железобетонных конструкций с точки зрения представления знаний // Автоматизация проектирования объектов гражданского строительства. - К.: КиевЗНИИЭП, 1992. - С.36-54.

8. Яловец А.Л. Формальное описание процесса конструирования линейных железобетонных элементов // Автоматизация проектирования объектов гражданского строительства. - К.: КиевЗНИИЭП, 1992. - С.81-88.

9. Яловец А.Л. Особенности представления и обработки знаний в подсистеме объяснений ЭС КОНСТРУКТОР // Автоматизация проектирования объектов гражданского строительства. - К.: КиевЗНИИЭП, 1992. - С.89-109.

10. Лихогруд Н.Г., Лихогруд Г.М., Яловец А.Л. Экспертные системы проектирования объектов строительства // Новости искусственного интеллекта. - 1993. - №4. - С.68-91.

**Яловец А.Л.** Методы и модели представления и обработки знаний в экспертных системах строительного проектирования (на примере предметной области "Проектирование линейных железобетонных конструкций"). - Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 - системы автоматизации проектирования.- Киевский государственный технический университет строительства и архитектуры, Киев, 1997.

Защищается 10 научных работ, которые содержат результаты теоретических и практических исследований методов и моделей представления и обработки знаний в экспертных системах строительного проектирования. Установлено, что методы и модели, разрабо-

танные и адаптированные в процессе представления и обработки знаний о предметной области "Проектирование линейных железобетонных конструкций", целесообразно использовать при построении других экспертных систем строительного проектирования. Осуществлено внедрение результатов диссертационной работы.

**Yalovets A.L.** Methods and models of the knowledge representation and processing in expert systems of building designing (on example of object field "Designing of linear reinforced concrete constructions").- Manuscript. Thesis for a kandidat's degree by speciality 05.13.12 - automated designing systems.- Kyiv State Technical University of Building and Architecture, Kyiv, 1997.

10 scientific works are being defended which contain the results of the theoretical and practical investigations of the methods and models of the knowledge representation and processing in expert systems of building designing. It has been ascertained that the methods and models worked out and adapted in the process of knowledge representation and processing about object field "Designing of linear reinforced concrete constructions" are expedient to be used while building designing hybrid expert systems creating. The results of the dissertation have been introduced already.

**Ключові слова:** експертна система, база знань, представлення знань, обробка знань, логічна модель, предикат, процес проектування, лінійні залізобетонні конструкції.



AB 38.479