

УДК 004.896:004.891.3:514.18

ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ІНЖЕНЕРІЇ ЗНАНЬ В ПРОЦЕС ПРОЕКТУВАННЯ ЗБІРНИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

СОРОТЮК Т.І.^{1*}, асп.,
ТЕРЕНЧУК С.А.^{2*}, к. ф.-м. н., доц.

^{1*} Кафедра інформаційних технологій проектування та прикладної математики, Київський національний університет будівництва і архітектури, проспект Повітрофлотський, 31, 03680, м. Київ, Україна, тел. +38(093)112-29-57, e-mail: tsorotiuk@gmail.com, ORCID ID 0000-0002-7964-8437

^{2*} Кафедра архітектурних конструкцій, Київський національний університет будівництва і архітектури, проспект Повітрофлотський, 31, 03680, м. Київ, Україна, ORCID ID: 0000-0002-7141-6033

Анотація. Мета. Розробка системи інженерії знань для проектування збірних каркасних будівельних конструкцій з її подальшим впровадженням в процес проектування. **Методика** проектування збірних будівельних конструкцій ґрунтується на застосуванні принципу декомпозиції геометричної моделі конструкції на елементи з їх подальшою композицією в нове з'єднання згідно технічного рішення. Правила будуються на основі узагальнених експертних знань та узгоджуються з даними обстежень технічного стану реальних конструкцій, що експлуатуються в різних умовах. Для обґрунтування вибору найкращої композиції дані про нові конструкції передаються до зовнішніх систем автоматизованого проектування, в яких виконується побудова інформаційної моделі конструкції та проводиться розрахунок навантажень. **Результати.** Запропонована система інженерії знань розширює та удосконалює можливості застосування існуючих систем автоматизованого проектування у напрямку зниження ризиків прийняття невірних рішень при проектуванні нових конструктивних елементів за рахунок використання експертних знань. **Наукова новизна.** Для аналітичного забезпечення системи побудовано базу знань, яка містить в собі атлас геометричних моделей елементів вузлів з описанням умов їх експлуатації та базу правил для композиції. Для управління порядком робіт в процесі проектування нових конструкцій запропоновано модель застосування знань, яку побудовано з урахуванням особливостей методів вирішення динамічних багатокритеріальних задач в умовах невизначеності та ризиків. Динамічність моделі дозволяє вчасно впливати на формування календарного графіку проект за рахунок можливості змін конструктивних рішень в процесі проектування. **Практична цінність.** Впровадження системи інженерії знань дозволяє суттєво підвищити ступінь автоматизації процесу проектування збірних каркасних конструкцій та швидкість проектування. Взаємодія розробленої системи з зовнішніми системами автоматизованого проектування надає можливість забезпечити імітаційне моделювання властивостей унікальних збірних конструкцій, що є необхідним при створенні відповідної технічної документації, а також сприяє зниженню витрат на проведення додаткових випробувань. Візуалізація геометричних моделей елементів вузлів суттєво впливає на надійність рішення при використанні природного інтелекту на стадії застосування знань за рахунок зручності сприйняття великої кількості інформації.

Ключові слова. Інженерія знань, інтелектуальна інтегрована система прийняття рішень, база знань, база правил.

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ ИНЖЕНЕРИИ ЗНАНИЙ В ПРОЦЕС ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБОРНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

СОРОТЮК Т.И.^{1*}, асп.,
ТЕРЕНЧУК С.А.^{2*}, к. ф.-м. н., доц.

^{1*} Кафедра информационных технологий проектирования и прикладной математики, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, проспект Воздухофлотский, 31, 03680, г. Киев, Украина, тел. +38(093)112-29-57, e-mail: tsorotiuk@gmail.com, ORCID ID 0000-0002-7964-8437

^{2*} Кафедра архитектурных конструкций, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, проспект Воздухофлотский, 31, 03680, г. Киев, Украина, ORCID ID: 0000-0002-7141-6033

Аннотація. Цель. Разработка системы инженерии знаний для проектирования сборных каркасных строительных конструкций с ее последующим внедрением в процесс проектирования. Методика проектирования сборных строительных конструкций основывается на применении принципа декомпозиции геометрической модели конструкции на элементы с их последующей композицией в новое соединение согласно техническому решению. Правила строятся на основе обобщенных экспертных знаний и согласуются с данными обследований технического состояния реальных конструкций, эксплуатируемых в различных условиях. Для обоснования выбора лучшей композиции данные о новых конструкциях передаются во внешние системы автоматизированного проектирования, в которых выполняется построение информационной модели конструкции и производится расчет нагрузок. **Результаты.** Предложенная система инженерии знаний расширяет и совершенствует возможности применения существующих систем автоматизированного проектирования в направлении снижения рисков принятия неверных решений при проектировании новых конструктивных элементов за счет использования экспертных знаний. **Научная новизна.** Для аналитического обеспечения системы

построена база знаний, которая содержит в себе атлас геометрических моделей элементов узлов с описанием условий их эксплуатации и базу правил для композиции. Для управления порядком работ в процессе проектирования новых конструкций предложена модель применения знаний, которая построена с учетом особенностей методов решения динамических многокритериальных задач в условиях неопределенности и рисков. Динамичность модели позволяет вовремя влиять на формирование календарного графика проекта за счет возможности изменения конструктивных решений в процессе проектирования. **Практическая ценность.** Внедрение системы инженерии знаний позволяет существенно повысить степень автоматизации процесса проектирования сборных каркасных конструкций и скорость проектирования. Взаимодействие разработанной системы с внешними системами автоматизированного проектирования позволяет обеспечить имитационное моделирование свойств уникальных сборных конструкций необходимых при создании соответствующей технической документации, а также способствует снижению расходов на проведение дополнительных испытаний. Визуализация геометрических моделей элементов узлов существенно влияет на надежность решения при использовании природного интеллекта на стадии применения знаний за счет удобства восприятия большого количества информации.

Ключевые слова. Инженерия знаний, интеллектуальная интегрированная система принятия решений, база знаний, база правил.

IMPLEMENTATION OF THE SYSTEM OF ENGINEERING KNOWLEDGE IN THE DESIGN PROCESS OF PRECAST STEEL BUILDING CONSTRUCTIONS

SOROTUYK T.I.^{1*}, *Ph.D. Cand.*,
TERENCHUK S.A.², *Ph.D. Assoc. Prof.*

^{1*} *Department of Information Technology Design and Applied Mathematics, Kyiv National University of Construction and Architecture, Povitroflotsky Avenue, 31, 03680, Kyiv, Ukraine, tel. +38(093)112-29-57, e-mail: tsorotiuk@gmail.com, ORCID ID 0000-0002-7964-8437*

² *Department of Architectural Structures, Kyiv National University of Construction and Architecture, Povitroflotsky Avenue, 31, 03680, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: 0000-0002-7141-6033*

Annotation. Purpose. The development of the system of engineering knowledge for designing of precast steel building constructions with its subsequent introduction in the design process. **Methods** of designing of precast building constructions based on the application of the principle of decomposition geometric model design elements in their composition, followed by a new connection by technical decision. The rules are based on generalized expert knowledge and consistent with findings of surveys of technical condition of real structures operating in different conditions. In order to justify choice of the best composition data on a new compounds are transferred to external CAD systems, which performed construction information model design and calculates the loads. **Results.** The proposed system of engineering knowledge expands and enhances the capabilities of the existing CAD systems towards reducing the risk of making wrong decisions when designing new compounds related to the lack of reliable regulatory framework of standards for new design solutions and observational data through the use of expertise. **Originality.** For analytical support system was built a knowledge base, which contains the atlas of geometric models, elements of units with a description of the conditions of their use and the base of rules for composition. To manage the order of operations in the design process of new compounds, the model of application knowledge was offered, which was constructed with taking into account the features of methods of solving the dynamic multi tasks under conditions of uncertainty and risk. The dynamics of model allows timely influence the schedule of the project by allowing changes in design during the design process. **Practical value.** Implementation of the system of engineering knowledge allows a significantly increase the degree of automation of the design process of precast steel constructions and the designing speed. The interaction of developed system with external CAD systems enables to provide the imitational modeling of features of unique precast constructions, that are essential in creating appropriate technical documentation and reduces the costs for additional tests. Visualization of geometric models elements of units a significantly affect the reliability of solutions when used natural intelligence at the stage of the application of knowledge through the convenience of a large amount of information.

Keywords. Knowledge Engineering, Intelligent integrated decision-making system, knowledge base, rule base.

Вступ

Об'єктом досліджень в даній роботі є процес проектування промислових будівель каркасного типу. Проектування збірної каркасної промислової будівлі (ЗКПБ) виробничого призначення зводиться до проектування конструктивного остову її прольотів та компонування їх в одну композицію. Вибір оптимального за заданими критеріями проектного рішення – задача, що може вирішуватись шляхом

варіації різних наборів елементів, які, в свою чергу, характеризуються рядом параметрів.

Проблема вибору найкращої композиції з множини елементів, що мають різні геометричні та фізико-хімічні характеристики, як правило, постає на ранній стадії проектування і характеризується ризиками, що спричинені невизначеністю різного характеру. Рішення, що приймаються на даному етапі, визначають надійність проекту та вартість його впровадження.

Помилки на стадії проектування дорого, а часто і неможливо, компенсувати на майбутніх стадіях життєвого циклу проекту. Саме тому велике значення приділяється урахуванню ризиків, які пов'язані з невизначеністю та ризиками в управлінні будівельними проектами [1].

Значний обсяг різномірної інформації, залежність параметрів елементів від зовнішніх умов та призначення конструкцій, ручне складання та аналіз альтернатив проектного рішення – частина проблем, вирішення яких потребує впровадження в процес проектування системи автоматизованого перебору і оцінки можливих варіантів рішень. Найкращим в цій галузі визнані такі системи автоматизованого проектування (САПР), як DiaLUX, Magicad for Autocad / Revit, Allklima for Autocad / Allplan, Revit Mer, Autocad Mer, LinearArchiCAD [2]. Проте, впровадження нових технологій, випуск нових нестандартних елементів, уточнення стандартів призводить до збільшення обсягів наявної інформації та змінює вимоги до існуючих систем.

В описаних умовах лишаються актуальними задачі розробки та впровадження в процес проектування інтелектуальних систем, що можуть не лише виконувати запрограмовану послідовність дій над детермінованими даними, а здатні узагальнювати та аналізувати інформацію, адаптуватися до її змін, спілкуватися з людиною-користувачем, приймати рішення в умовах неповної, нечіткої та суперечливої інформації та формувати пояснення логіки [2].

Мета

Метою статті є розробка системи інженерії знань для проектування збірних каркасних будівельних конструкцій з її подальшим впровадженням в процес проектування

Аналіз останніх досліджень і публікацій

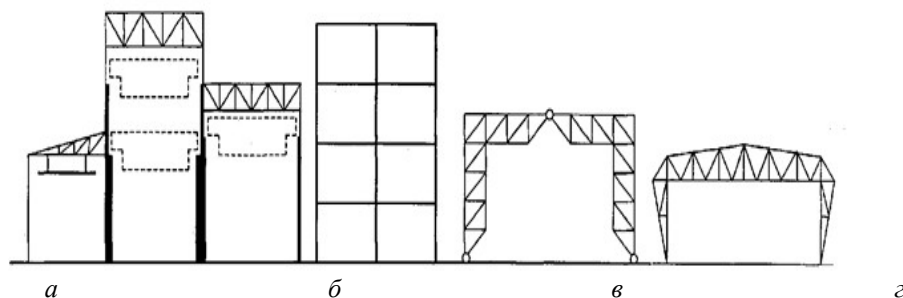


Рис. 1. Приклади рішення поперечних рам промислових об'єктів каркасного типу: а – виробнича будівля; б – будівля адміністративного призначення; в – естакада; г – ангар /
Examples decision transverse frames frame type industrial facilities, A – industrial building; B – building, office block; C – overpa; D – hanhary.

Саме система інженерії знань (СІЗ) здійснює вибір методів подання і отримання знань та визначає архітектуру експертних систем за рахунок унікальної

Перелік промислових об'єктів каркасного типу включає в себе виробничі будівлі металургійних і машинобудівних підприємств, цехи підприємств будіндустрії, будівлі адміністративного призначення, різноманітні ангари, естакади та інші споруди, що являють собою матеріальну базу виробництва [4].

Приклади поперечних рам зазначених об'єктів показані на рисунку 1.

Вибір конструктивного рішення обмежує номенклатуру перерізів елементів і типів з'єднань, що використовуються, і зумовлюються рядом факторів, який включає [8, 9, 12]:

- техніко-економічні показники;
- конструкційні обмеження;
- нормативні вимоги;
- характер і величину навантажень;
- вплив агресивних факторів середовища.

Автоматизація архітектурної частини проекту ЗКПБ забезпечується такими програмними комплексами, як САПФІР, ArchiCAD, REVIT, Allplan та ін. Конструктори мають в своєму розпорядженні широкий асортимент програмних комплексів, таких як ЛІРА-САПР 2012, ROBOT, МОНОМАХ-САПР 2012, SCAD soft та ін. При цьому, проблема розробки програмного забезпечення, що генерує геометричні моделі конструктивних елементів для проектування та розрахунку напружено-деформованого стану конструкцій лишається перспективною в зв'язку з тим, що швидкість зростання попиту на нестандартні та унікальні будівельні конструкції перевищує швидкість впровадження відповідних засобів [8, 10].

В таких умовах одним з напрямків підвищення рівню автоматизації процесу проектування та ступеню надійності рішень є розробка та впровадження в процес управління інтелектуальних систем і технологій. Використання інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (ІСППР), робота якої базується на застосуванні робота, для формування яких реалізуються системи інженерії знань (СІЗ).

організації бази знань і схеми керування інтерпретатором даних (рис.2).

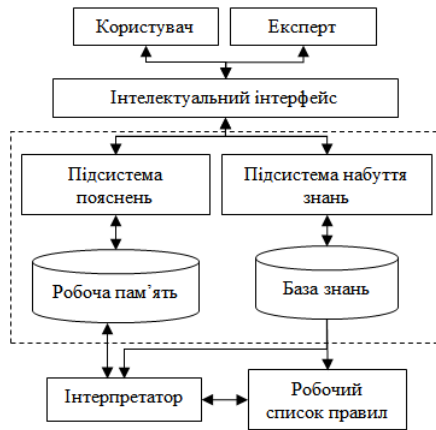


Рис. 2. СІЗ в складі ІСППР / SEK (system of engineering knowledge) in EESDMM (intelligent integrated system of decision-making model of network structures).

Надалі описано основні модулі ІСППР.

База знань – частина ІСППР, що містить подання знань предметної області. У статичній частині бази знань зберігаються довгострокові знання, що описують предметну область у вигляді загальних фактів і правил.

Робоча пам'ять (база даних) – динамічна частина бази знань, що призначена для збереження вихідних і проміжних даних.

Інтерпретатор – компонент, який визначає послідовність активації правил в залежності від заданих умов та вибирає одне з них.

Робочий список правил – список правил, що створений і впорядкований за пріоритетами.

Пріоритети формуються на основі шаблонів та метаданих, що зберігаються в базі знань.

Інтелектуальний інтерфейс – діалоговий компонент, що розподіляє ролі користувачів і ІСППР, а також організовує їх взаємодію в процесі кооперативного вирішення задачі за допомогою перетворення запитів користувачів у внутрішню мову подання знань експертної системи і перетворення повідомлень системи, поданих внутрішньою мовою, у повідомлення для користувача природною мовою або мовою графіки.

Підсистема набуття знань – автоматизує процес наповнення експертної системи знаннями через редактор бази знань без залучення інженера зі знань.

Редактор бази знань – складова частина підсистеми набуття знань, що являє собою транслятор з деякої підмножини природної мови у спеціальний код.

Підсистема пояснень – дозволяє контролювати хід суджень системи і пояснювати її рішення або їх відсутність з указівкою використаних знань, а також виявляти протиріччя в базі знань.

Виклад основного матеріалу

Процес проектування ЗКПБ, в першу чергу, визначається послідовністю вибору елементів з множини об'єктів. В даній роботі для управління зазначеним процесом запропоновано модель застосування знань, що являє собою динамічне дерево рішень, що трансформоване в спіральну структуру (рис. 3,а).

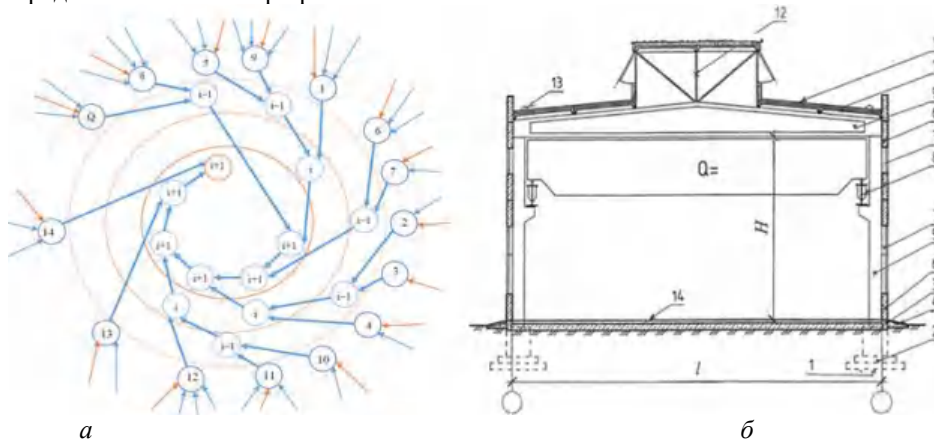


Рис. 3. Фрагмент моделі застосування знань (а) і результат її роботи (б):

Позначення: 1 – ґрунтова основа; 2 – фундамент стовповий; 3 – фундаментна балка; 4 – вимощення; 5 – колона основна; 6 – стіна зовнішня; 7 – вікно;

8 – підкранова балка; 9 – несучий елемент покриття; 10 – огорожувальний елемент покриття;

11 – покрівля; 12 – ліхтар; 13 – лійка відведення опадів; 14 – підлога. /

Fragment model applying knowledge (A) and the outcome of its work (B):

Legend: 1 - soil base; 2 - pole foundation; 3 - Bases joists 4 - blind area; 5 - the main column; 6 - exterior wall; 7 - window; 8 - Crane beam; 9 - bearing element coverage; 10 - pergolas cover; 11 - roofing; 12 - lamp; 13 - Lake diversion of precipitation; 14 - floor

Вирішальним правилом для формування моделі є залежність поточних елементів від того чи являються вони базовими для чергових при заданих умовах. Інші правила визначаються функціональним

призначенням, геометричними і фізико-механічними параметрами елементів в ЗКПБ.

В зовнішньому колі спіралі розташовані номери базових елементів конструкції для кожного випадку.

Порядок визначається експертом, або правилами, що накопичуються в базі знань. Внутрішній виток спіралі відображає етап розв'язання задачі на $i-1$, i та $i+1$ кроках. Стрілками відображені можливі варіанти конструктивного рішення композиції, а на рис. 3,б надано результат роботи СІЗ на відповідних кроках.

Зміна базової деталі у розрахункових вузлах впливає на конфігурацію сітьової моделі проекту. Запропонована модель застосування знань дозволяє користувачеві вносити ці зміни в режимі реального часу, без змін тієї частини проекту, що обмежується вирішальним правилом. Така організація застосування синтезу та знань підвищує ефективність процесу проектування.

Взаємодія запропонованої ІСППР з іншими учасниками процесу представлена на рис. 4.

Користувач – людина, що використовує вже побудовану експертну систему.

Експерт – висококваліфікований фахівець у проблемній області, задачі якої повинна вирішувати експертна система. Експерт визначає знання, що характеризують проблемну область, забезпечує повноту і правильність введених в систему знань.

Технічний проект – складається з технічного завдання та технічного рішення – стадія розробки виробу і проектна конструкторська документація, яка містить повне уявлення про будову об'єкту, для якого розробляється проект.

Інтелектуальний інтерфейс – діалоговий компонент, що розподіляє ролі користувачів, експертів і ІСППР, а також організовує їх взаємодію з модулями побудови вузлів конструкції в процесі кооперативного вирішення задачі за допомогою перетворення запитів користувачів у внутрішню мову подання знань системи і перетворення повідомлень системи у повідомлення для користувача природною мовою або мовою графіки.

Робочий список правил – список, який створюється і впорядковується за пріоритетами, що формуються на основі шаблонів та метаданих, які зберігаються в базі знань.

Робота модулів числового представлення, графічного представлення, розрахунку вузла, побудови вузла та передачі даних детально описано в роботах [4-6].

Зовнішні САПР – системи автоматизованого проектування, з якими універсальні САПР, в яких виконується побудова тривимірної моделі збірної каркасної конструкції та проводиться розрахунок навантажень на окремі її елементи.

Описана СІЗ реалізована за допомогою Visual Studio з використанням процедурної мови програмування С++ і впроваджена до універсальної проектної САПР Allplan Precast..

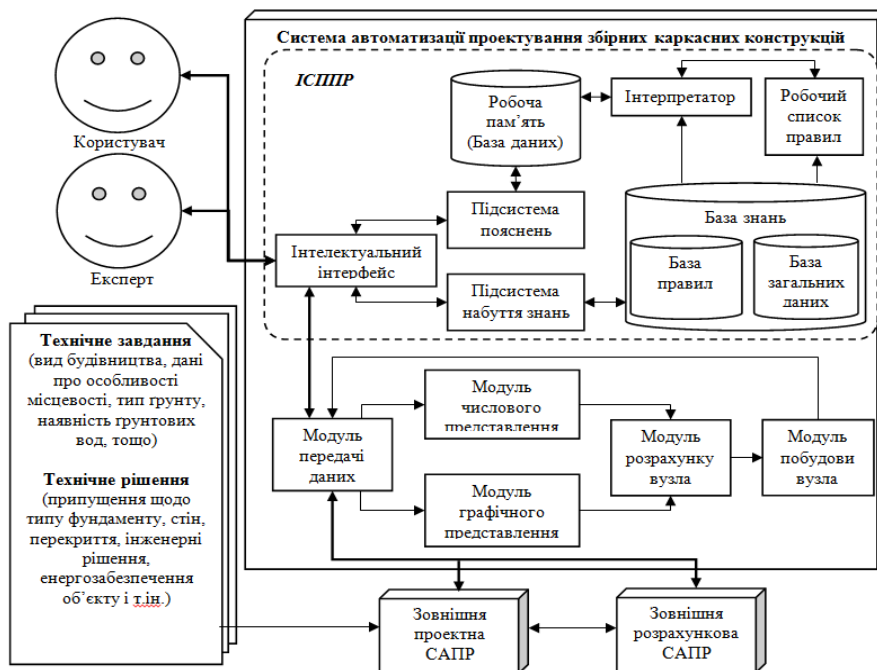


Рис. 4. Схема впровадження ІСППР в інформаційний процес проектування ЗКПБ / The scheme implementation EESDMM in information design process FRCS(frame of reinforced concrete structures)

Висновки

Впровадження СІЗ розширює та удосконалює можливості застосування сучасних САПР у напрямку зниження ризиків прийняття невірних рішень при проектуванні нових з'єднань за рахунок підвищення надійності моделювання на стадії застосування

знань. Візуалізація геометричних моделей елементів конструкції адаптована до особливостей сприйняття інформації людиною, що сприяє зниженню ризиків прийняття невірних рішень та дозволяє значно підвищити швидкість проектування за рахунок автоматизації формування сітьової моделі проекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Єременко Б. М. Моделювання інтелектуальної системи для діагностики технічного стану об'єктів будівництва / Б.М. Єременко // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – №1/2(21). – С. 44-48.
2. Михайленко В. М. Інформаційна технологія оцінки технічного стану елементів будівельних конструкцій із застосуванням нечітких моделей / В.М. Михайленко, О.О. Терент'єв, Б.М. Єременко // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2013. – Вып. 70. – С. 133-141.
3. Невлюдов І. Ш. Основи систем автоматизованого проектування: технічна підготовка виробництва / І. Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, В. В. Євсєєв, С. С. Мілютіна. — Київ: Національний авіаційний університет, 2014 — 360 с.
4. Соротюк Т. І. Дослідження видів з'єднань конструктивних елементів каркасних будівель / Т.І. Соротюк // Теорія і практика будівництва. – 2012.– Вип 10. – С. 39-42.
5. Соротюк Т. І. Моделювання системи автоматизації проектування з'єднань в збірних каркасних конструкціях / Т.І. Соротюк, С.А. Теренчук – Строительство, материаловедение, машиностроение – №70. – 2013.– С. 219-224.
6. Соротюк Т. І. Інформаційна технологія автоматизованого проектування з'єднань збірних каркасних конструкцій / Т.І. Соротюк, Теренчук С.А., Єременко Б.М. – Строительство, материаловедение, машиностроение – №86. – 2016.– С. 100-107.
7. Теренчук С. А. Моделі і методи оцінки ризиків в інвестиційних будівельних проектах в умовах невизначеності [Текст] / С.А. Теренчук, Б.М. Єременко, Д.Б. Журибеда // Теорія і практика будівництва. – 2009. – Вип 5. – С. 49-53.
8. Eastman C. et al. Building Information Modeling handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. – John Wiley & Sons, 2011., 611 p.
9. Pashko A. O. Simulations of standard Brownian motion / A.O. Pashko // Computer modelling & new technologies –2014, issue 18(10), pp 516-521.
10. Romney B. An Efficient System For Geometric Assembly Sequence Generation and Evaluation / B. Romney, C. Godard, M. Goldwasser, G. Ramcumar // Proc. ASME. Intl Computers in Engineering Conf. – 1995. – P. 699–712. doi:10.1.1.131.838
- Romney, B. An Efficient System For Geometric Assembly Sequence Generation and Evaluation, Proc. ASME. Intl Computers in Engineering Conf., 1995, P. 699–712. doi:10.1.1.131.8385
11. Wilson R. H. A framework for geometric reasoning about tools in assembly / R. H. Wilson // Proceedings of International Conference on Robotics and Automation. – Vol. 2. – p. 1837–1844.
12. Yeremenko B. Statistical Simulation of Accidental Loads in the Problems of Constructional Mechanics / B. Yeremenko, A. Pashko, S. Terenchuk // Advansed Materials Research. – 2015. – Vol 1122. – P. 249-252.

REFERENCES

1. Eremenko B.M. *Modeliuvannia intelektualnoi systemy dlia diagnostyky tekhnichnogo stanu ob'ektiv budivnystva* [Modeling intellectual system for diagnostics of technical state of construction], *Tekhnologichniy audit ta rezervy vyrobnystva* [Technology of production and reserves audit], 2015, vol. 1/2, no. 21, 44-48 pp. (in Ukrainian).
2. Mikhailenko V.M. *Informatsiina tekhnolohiia otsinky tekhnichnogo stanu elementiv budivelnykh konstrukttsii iz zastosuvanniam nechitkykh modelei* [Information technology assessment of technical state of elements of building designs using fuzzy models]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, materials science, mechanical engineering], 2013, issue 70, pp 133-141. (in Ukrainian).
3. Nevludov I. Sh., Andrusyevych A.O., Evseev V.V. and Miliutina S.S. *Osnovy system avtomatyzovanoho proektuvannia: tekhnichna pidhotovka vyrobnystva* [Computer-Aided Design Basics: technical preparation of production], Kyiv, National Aviation University, 2014. 360 p. (in Ukrainian).
4. Sorotiuik T.I. *Doslidzhennia vydiv z'yednan konstruktivnykh elementiv karkasnykh budivel* [Research connections kinds of frame structural elements of buildings]. *Teoria i praktyka budivnystva* [Theory and practice of construction], 2012, issue 10, pp 39-42. (in Ukrainian).
5. Sorotiuik T.I. and Terenchuk S.A. *Modeliuvannia systemy avtomatyzatsii proektuvannia z'yednan v zbirnykh karkasnykh konstrukttsiakh* [Simulation System Design Automation joints in precast of frame structures]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, materials science, mechanical engineering], 2013, issue 70, pp 219-224. (in Ukrainian).
6. Sorotiuik T.I., Terenchuk S.A. and Yeremenko B. M. *Informatsiina tekhnolohiia avtomatyzovanoho proektuvannia z'yednan zbirnykh karkasnykh konstrukttsii* [information technology aided designing of connections of precast frame structures], *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, materials science, mechanical engineering], 2016, issue 86, pp 100-107. (in Ukrainian).
7. Теренчук Теренчук С.А., Єременко Б.М. and Zhurybeda D.B. *Modeli i metody otsinky ryzykiv v investytsiynnykh budivelnykh proektakh v umovakh nevyznachenosti* [Models and methods for risk assessment in investment construction projects under uncertainty], *Teoria i praktyka budivnystva* [Theory and practice of construction] 2009, issue 5, pp 49-53. (in Ukrainian).
8. Eastman C. et al. *Building Information Modeling handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors.* – John Wiley & Sons, 2011., 611 p.
9. Pashko A.O. *Simulations of standard Brownian motion.* Computer modelling & new technologies –2014, issue 18(10), pp 516-521.
10. Romney, B. *An Efficient System For Geometric Assembly Sequence Generation and Evaluation* / B. Romney, C. Godard, M. Goldwasser, G. Ramcumar // Proc. ASME. Intl Computers in Engineering Conf. – 1995. – P. 699–712. doi:10.1.1.131.838
11. Wilson, R. H. *A framework for geometric reasoning about tools in assembly* / Proceedings of International Conference on Robotics and Automation. – Vol. 2. – p. 1837–1844.
12. Yeremenko B. Pashko A. and Terenchuk S. *Statistical Simulation of Accidental Loads in the Problems of Constructional Mechanics* / B. Yeremenko, // Advansed Materials Research. – 2015. – Vol 1122. – P. 249-252.