

УДК 004.896:004.891.3:514.18

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ З'ЄДНАНЬ ЗБІРНИХ КАРКАСНИХ КОНСТРУКЦІЙ

СОРОТЮК Т.І.^{1*}, асп.,
ТЕРЕНЧУК С.А.², к. ф.-м. н., доц.,
ЄРЕМЕНКО Б.М.³, к. т. н.

^{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](https://orcid.org/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

³ Кафедра інформаційних технологій проектування та прикладної математики, Київський національний університет будівництва і архітектури, проспект Повітрофлотський, 31, 03680, м. Київ, Україна, ORCID ID: 0000-0002-3734-0813

Анотація. Мета. Розробка інформаційної технології автоматизованого проектування з'єднань унікальних збірних каркасних залізобетонних конструкцій, що базується на математичних моделях сітчастих структур та теорії нечітких множин, і призначена для застосування в інтелектуальних інтегрованих системах підтримки прийняття рішення, які використовуються системами автоматизованого проектування. **Методика** проектування ґрунтується на застосуванні алгоритму побудови нових з'єднань згідно технічного рішення. В основу алгоритму покладено модель сітчастих структур і принцип декомпозиції геометричної моделі конструкції на елементи з наступним їх поєднанням в нове з'єднання. Запропонована модель адаптована для імітації стану конструкції автоматизованою системою підтримки прийняття рішень в нечітких умовах та умовах невизначеності. Робота алгоритму базується на взаємодії з зовнішніми системами автоматизації проектування та передбачає звернення до інтелектуальної системи, яка на перших етапах вимагає залучення природного інтелекту з послідовними формалізацією та накопиченням інформації про прийняті рішення в базі знань з метою використання штучними інтелектуальними системами. **Результати.** Запропонована технологія розширює та удосконалює можливості застосування існуючих систем автоматизованого проектування та розрахунків і знизити ризики прийняття невірних рішень в нечітких умовах та умовах невизначеності, що пов'язані з людським фактором за рахунок подвійного контролю, що організовано в системі підтримки прийняття рішень. **Наукова новизна.** Запропоновано модель технологічного процесу проектування з'єднань збірних каркасних конструкцій, для якої розроблено інтелектуальну інтегровану систему підтримки прийняття рішень. Для вказаної системи на основі геометричних моделей вузлів побудовано базу знань, яка містить в собі базу даних геометричних моделей елементів вузлів та базу нечітких правил їх композиції. Правила композиції ґрунтуються на нечіткій математичній моделі сітчастих структур, яку було адаптовано для застосування інтелектуальними інтегрованими системами проектування. **Практична цінність.** Реалізація запропонованого алгоритму дозволяє суттєво обмежити кількість прийнятних варіантів конструкцій в змінних умовах і, таким чином, підвищити ступінь автоматизації технології процесу проектування з'єднань збірних каркасних конструкцій. Проведена формалізація моделі сітчастих структур надає можливість забезпечити імітаційне моделювання властивостей унікальних конструкцій, що є необхідним при створенні відповідної технічної документації. Візуалізація геометричних моделей елементів вузлів впливає на надійність технології, оскільки дозволяє суттєво знизити ризик прийняття неадекватних рішень на стадії набуття знань за допомогою застосування природного інтелекту.

Ключові слова. Інформаційна технологія, інтелектуальна інтегрована система прийняття рішень, модель сітчастих структур, база знань.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ СБОРНЫХ КАРКАСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

СОРОТЮК Т.И.^{1*}, асп.,
ТЕРЕНЧУК С.А.², к. ф.-м. н., доц.,
ЄРЕМЕНКО Б.М.³, к. т. н.

^{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](https://orcid.org/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

³ Кафедра информационных технологий проектирования и прикладной математики, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, проспект Воздухофлотский, 31, 03680, г. Киев, Украина, ORCID ID: 0000-0002-3734-0813

Аннотация. Цель. Разработка информационной технологии автоматизированного проектирования соединений уникальных сборных каркасных железобетонных конструкций, основанной на математических моделях сетчатых структур и теории нечетких множеств, а также предназначена для применения в интеллектуальных интегрированных системах поддержки принятия решения, используемой системами автоматизированного проектирования. **Методика** проектирования основывается на применении алгоритма построения новых соединений согласно техническому решению. В основу алгоритма положена модель сетчатых структур и принцип декомпозиции геометрической модели конструкции на элементы с последующим их объединением в новое соединение. Предложенная модель адаптирована для имитации состояния конструкции автоматизированной системой поддержки принятия решений в нечетких условиях и условиях неопределенности. Работа алгоритма базируется на взаимодействии с внешними системами автоматизации проектирования и предполагает обращение к интеллектуальной системе, которая на первых этапах требует привлечения природного интеллекта с последовательными формализацией и накоплением информации о принятых решениях в базе знаний с целью использования искусственными интеллектуальными системами. **Результаты.** Предложенная технология расширяет и совершенствует возможности применения существующих систем автоматизированного проектирования и расчетов и снижает риски принятия неверных решений в нечетких условиях и условиях неопределенности, связанные с человеческим фактором за счет двойного контроля, что организовано в системе поддержки принятия решений. **Научная новизна.** Предложенная модель технологического процесса проектирования соединений сборных каркасных конструкций, для которой разработано интеллектуальную интегрированную систему поддержки принятия решений. Для указанной системы на основе геометрических моделей узлов построено базу знаний, которая содержит в себе базу данных геометрических моделей элементов узлов и базу нечетких правил их композиции. Правила композиции основаны на нечеткой математической модели сетчатых структур, которая была адаптирована для применения интеллектуальными интегрированными системами проектирования. **Практическая ценность.** Реализация предложенного алгоритма позволяет существенно ограничить количество приемлемых вариантов конструкций в изменяющихся условиях и, таким образом, повысить степень автоматизации технологии процесса проектирования соединений сборных каркасных конструкций. Проведенная формализация модели сетчатых структур позволяет обеспечить имитационное моделирование свойств уникальных конструкций необходимых при создании соответствующей технической документации. Визуализация геометрических моделей элементов узлов влияет на надежность технологии, поскольку позволяет существенно снизить риск принятия неадекватных решений на стадии приобретения знаний посредством применения природного интеллекта.

Ключевые слова. Информационная технология, интеллектуальная интегрированная система принятия решений, модель сетчатых структур, база знаний.

INFORMATION TECHNOLOGY AIDED DESIGNING OF CONNECTIONS OF PRECAST FRAME STRUCTURES

SOROTUYK T.I.^{1*}, *Ph.D. Cand.*,
TERENCHUK S.A.³, *Ph.D. Assoc. Prof.*,
YEREMENKO B.M.², *Cand. Sc. (Tech.)*.

^{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](https://orcid.org/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

³ Department of Information Technology Design and Applied Mathematics, Kyiv National University of Construction and Architecture, Povitroflotsky Avenue, 31, 03680, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: 0000-0002-3734-0813

Annotation. Purpose. Development information technology, computer-aided design connections unique prefabricated frame of reinforced concrete structures based on mathematical models of network structures and the theory of fuzzy sets, and designed for use in intelligent integrated decision support system, used CAD systems. **Methods** of designing based on the application of the algorithm for constructing the new compounds according to the technical solution. The algorithm based on the model of network structures and the principle of decomposition of the geometric model of the structure to the elements and then combining them into a new connection. The proposed model is adapted to simulate the condition of the structure of the automated system of support of decision-making in fuzzy terms and conditions of uncertainty. The algorithm based on the interaction with external systems design automation and includes an appeal to the intelligent system, which initially requires the use of natural intelligence with successive formalization and accumulation of information on the decisions taken in the knowledge base for the use of artificial intelligence systems. **Results.** The proposed technology develops and improves the possibility of using the existing computer-aided design and analysis and reduces the risk of making wrong decisions in fuzzy terms and conditions, the uncertainties associated with the human factor due to the double-checking that organized in a system of decision support. **Scientific innovation.** The proposed model of the process of design of compounds of precast frame structures, which designed for intelligent, integrated decision support system. For systems based on said geometric models constructed node knowledge base, that contains a database of geometrical models of the elements and nodes of the fuzzy rules of base composition. Terms of compositions based on fuzzy mathematical model of network structures, which has been adapted for the use of intelligent integrated systems design. **The practical value.** Realization of the proposed algorithm can significantly limit the number of suitable design options in a changing environment and, therefore, increase the degree of automation technology in the design process of compounds of precast frame structures. Carried out formalization of the model network structures

allows simulation unique design features needed to create the technical documentation. Visualization of geometric models of elements nodes affects the reliability of the technology, as it allows to significantly reducing the risk of making inappropriate decisions at the stage of acquiring knowledge using natural intelligence.

Keywords. Information technology, intelligent integrated system of decision-making model of network structures, the knowledge base.

Вступ

Розвиток сучасного будівництва потребує постійного створення великої кількості унікальних конструктивних елементів, що забезпечують новим будівлям значні переваги перед стандартними. Для таких елементів розробляються та розраховуються нові типи з'єднань. Проте часто ці з'єднання не реалізуються в проектних та розрахункових системах автоматизованого проектування (САПР), оскільки розробники не завжди встигають за швидкістю попиту на нові унікальні конструкторські рішення з різних причин, до яких відносяться: несумісність рішення з окремими існуючими САПР, складність та висока собівартість проектування, обмеженість фінансування та ін.

Одним із способів рішення даної проблеми є автоматизація проектування з'єднань збірних каркасних конструкцій. Наявність правил розробки з'єднань вказує на необхідність створення їх математичних моделей, які в цілому визначатимуть геометрію і тип елементів, що поєднуються у вказаній точці конструкції. Необхідна конфігурація з'єднань повністю визначається параметрами елементів, що їх утворюють, та характеристиками зовнішніх впливів. Для імітацій стану конструкції, що відповідає технічному завданню, в даній статті пропонується застосувати математичну модель сітчастих структур.

Мета

Метою статті є розробка інформаційної технології автоматизованого проектування з'єднань унікальних збірних каркасних залізобетонних конструкцій, що базується на математичних моделях сітчастих структур та теорії нечітких множин, і призначена для застосування в інтелектуальних інтегрованих системах підтримки прийняття рішення, що використовуються сучасними САПР.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Згідно [6] для імітаційного моделювання стану з'єднання конструкції застосовуються моделі сітчастих структур вузлів та скалярний потенціал поля зовнішніх впливів на них. Дана модель прийнята за основу технологічного процесу автоматизованого проектування з'єднань.

Нижче наведено послідовність операцій, що необхідні для досягнення потрібного стану сітчастої структури [6]:

1. Складання системи рівнянь рівноваги вузлів сітчастої структури.

2. Виконання розрахунку поточних вузлових величин сітчастої структури за наближено заданими початковими та вихідними умовами.

3. Складання параметричних рівнянь в'язей сітчастої структури.

4. Визначення поточних величин скалярних потенціалів полів зовнішніх впливів.

5. Визначення констант інтегрування з параметричних рівнянь в'язей при поточних значеннях вузлових параметрів моделі (координат та скалярних потенціалів).

6. Розв'язання системи параметричних рівнянь відносно розрахункових параметрів з попередньою заміною значень поточного потенціалу на показники потенціалу, що відповідають бажаним, та з урахуванням раніше розрахованих величин констант інтегрування.

7. Підстановка одержаних розрахункових параметрів до системи рівноваги вузлів сітчастої структури з подальшим розв'язанням цієї системи відносно вузлових величин сітчастої структури.

8. Повторення операцій 3-7 доти, доки не буде досягнуто встановленого рівня абсолютних чи відносних похибок числення.

В якості абсолютних похибок можуть виступати модулі різниць показників скалярних потенціалів, розрахункових параметрів або координат вузлів моделі на поточному та попередньому кроці розрахунку.

Сформульована вище послідовність операцій у математичній постановці описано нижче.

Рівняння рівноваги деякого i -го вузла сітчастої структури, що сполучається з n іншими вільними вузлами:

$$\sum_{j=1}^n (S_j - S_i) \cdot E_{i,j} + T_{si} = 0, \quad (1)$$

де S – узагальнене позначення координат вузлів; $E_{i,j}$ – розрахунковий параметр в'язі, що сполучає i -й та j -й вузли; T_{si} – позначення вектору зовнішнього впливу в i -му вузлі моделі.

Система рівнянь рівноваги типу (1), складена для всіх k вузлів моделі, у матричній формі матиме наступну форму:

$$[E] \cdot [S] + [g] + [T] = 0, \quad (2)$$

де, $[S]$ – матриця координат, розмірністю $k \times 3$, що має наступну форму:

$$[S] = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_k & y_k & z_k \end{bmatrix}; \quad (3)$$

[T] – матриця зовнішніх впливів, розмірністю $k \times 3$, що діють на вузли моделі, яка має форму:

$$[T] = \begin{bmatrix} T_{x1} & T_{y1} & T_{z1} \\ T_{x2} & T_{y2} & T_{z2} \\ T_{x3} & T_{y3} & T_{z3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ T_{xk} & T_{yk} & T_{zk} \end{bmatrix}; \quad (4)$$

[g] – матриця крайових умов, розмірністю $k \times 3$, елементи якої представляють собою суми добутків координат базових вузлів та відповідних розрахункових параметрів моделі, що має наступну форму:

$$[g] = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^L x_i \cdot E_{1,i} & \sum_{i=1}^L y_i \cdot E_{1,i} & \sum_{i=1}^L z_i \cdot E_{1,i} \\ \sum_{i=1}^M x_i \cdot E_{2,i} & \sum_{i=1}^M y_i \cdot E_{2,i} & \sum_{i=1}^M z_i \cdot E_{2,i} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \sum_{i=1}^N x_i \cdot E_{k,i} & \sum_{i=1}^N y_i \cdot E_{k,i} & \sum_{i=1}^N z_i \cdot E_{k,i} \end{bmatrix}; \quad (5)$$

[E] – матриця розрахункових параметрів стрижневої структури, розмірністю $k \times k$, діагональні елементи якої містять від’ємні суми розрахункових параметрів в’язей інцидентних тим вузлам моделі, для яких складені відповідні рівняння, а інші елементи – вміщують або розрахункові параметри в’язей, які з’єднують відповідні індексам вузли із вузлами, що відповідають діагональним елементам у даному рядку, або нулі (операцію «або» позначатимемо «or»); така матриця має наступну форму:

$$[E] = \begin{bmatrix} -\sum_{i=1}^P E_{1,i} & E_{1,2} \text{ or } 0 & \dots & E_{1,k} \text{ or } 0 \\ E_{2,1} \text{ or } 0 & -\sum_{i=1}^Q E_{2,i} & \dots & E_{2,k} \text{ or } 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ E_{k,1} \text{ or } 0 & E_{k,2} \text{ or } 0 & \dots & -\sum_{i=1}^R E_{k,i} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Система параметричних рівнянь, складена для всіх n вузлів моделі у матричній формі матиме наступну форму:

$$[\delta^2] \cdot [E] - [\varphi] + [B] = 0. \quad (7)$$

$[\varphi]$ – вектор-стовпець операційних констант, які відображають скалярний потенціал векторного поля φ впливу на i -й вузол, що має наступну форму:

$$[\varphi] = \begin{bmatrix} \varphi_{\text{вузол}1^1} + \varphi_{\text{вузол}2^1} \\ \varphi_{\text{вузол}1^2} + \varphi_{\text{вузол}2^2} \\ \varphi_{\text{вузол}1^3} + \varphi_{\text{вузол}2^3} \\ \vdots \\ \varphi_{\text{вузол}1^n} + \varphi_{\text{вузол}2^n} \end{bmatrix}; \quad (8)$$

[B] – вектор-стовпець операційних констант, що є результатом операцій інтегрування рівнянь типу (1) і який має наступну форму:

$$[B] = \begin{bmatrix} B_{\text{вузол}1,\text{вузол}2^1} \\ B_{\text{вузол}1,\text{вузол}2^2} \\ B_{\text{вузол}1,\text{вузол}2^3} \\ \vdots \\ B_{\text{вузол}1,\text{вузол}2^n} \end{bmatrix}; \quad (9)$$

$[\delta^2]$ – матриця геометричних параметрів стрижневої структури, розмірністю $n \times n$, діагональні елементи якої містять добутки деяких невід’ємних чисел (χ) та квадратів довжин в’язей, для яких складене рівняння, що відповідає конкретному рядку матриці, а інші елементи містять або відповідні квадрати довжин в’язей, або нулі. Така матриця має наступну форму:

$$[\delta^2] = \begin{bmatrix} \chi \cdot \delta_{\text{в}1,\text{в}2_{1,1}}^2 & \delta_{\text{в}1,\text{в}2_{1,2}}^2 \text{ or } 0 & \dots & \delta_{\text{в}1,\text{в}2_{1,n}}^2 \text{ or } 0 \\ \delta_{\text{в}1,\text{в}2_{2,1}}^2 \text{ or } 0 & \chi \cdot \delta_{\text{в}1,\text{в}2_{2,2}}^2 & \dots & \delta_{\text{в}1,\text{в}2_{2,n}}^2 \text{ or } 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{\text{в}1,\text{в}2_{n,1}}^2 \text{ or } 0 & \delta_{\text{в}1,\text{в}2_{n,2}}^2 \text{ or } 0 & \dots & \chi \cdot \delta_{\text{в}1,\text{в}2_{n,n}}^2 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Для в’язі між 1-м та 2-м вузлами матриця розрахункових параметрів сітчастої структури має форму вектору-стовпця:

$$[E] = \begin{bmatrix} E_{\text{вузол}1,\text{вузол}2^1} \\ E_{\text{вузол}1,\text{вузол}2^2} \\ E_{\text{вузол}1,\text{вузол}2^3} \\ \vdots \\ E_{\text{вузол}1,\text{вузол}2^n} \end{bmatrix}; \quad (11)$$

Матриця розрахункових параметрів для решти вузлів конструкцій має аналогічну форму. Згідно заданої умови визначення поточних даних вузлів моделі на основі розрахункових показників, які були розраховані на попередньому етапі, рівняння (2) з використанням послідовності дій буде мати наступну форму:

$$[E^{p-1}] \cdot [S^p] + [g^{p-1}] + [T^p] = 0, \quad (12)$$

У відповідності до процесів оптимізації та враховуючи те, що дана система вимагає проміжного ітераційного обчислення, у матричній формі кожен цикл матиме такий вид:

$$\begin{cases} [S^p] = [E^{p-1}]^{-1} \cdot (-[g^{p-1}] - [T^p]), \\ [E^p] = [(\delta^p)^2]^{-1} \cdot ([\varphi^{p-1}] - [\varphi^p] + [(\delta^p)^2] \cdot [E^{p-1}]). \end{cases} \quad (13)$$

Дана система повністю відображає пункти 1-7 алгоритму управління вузловими та в'язевими параметрами сітчастої структури довільної топологічної конфігурації.

Виклад основного матеріалу

Візуалізація моделі елементів з'єднання застосовується з метою перевірки альтернативного рішення конфігурації та зменшення ризику виникнення помилок специфікації.

Для коректної обробки інформації, пошуку, оновлення, тощо використовується система управління базою знань – СУБЗ (рис. 1) [3].



Рис. 1. Узагальнена структура системи управління базою знань /

Generalized structure of control system knowledge base.

Аналіз основних закономірностей моделювання технологічних процесів збірки з'єднання [7] показав, що при його проектуванні необхідно враховувати такі правила.

1. Зовнішній шар, шар утеплювача та шар облицювання завжди описується прямою, що утворює кут з середньою лінією стіни від 45° до 135°, без виїмок.

2. Внутрішній шар може містити один або два «зуба», що можуть мати як додатній так і від'ємний

об'єм. Висота «зуба» не може перевищувати 200 мм, товщина його основи не може перевищувати половину товщини стіни, нахил похилої лінії між основою та верхівкою «зуба» не може становити більше 90°.

Як приклад, розглянемо схематичне зображення перерізу вертикального з'єднання стінових панелей (рис. 2), для проектування якого було розроблено базу знань.

На рис. 1 штриховкою показано стінові панелі. В тому числі виділені орнаменти: 1 – монолітні залізобетонні внутрішні несучі стіни; 2 – шари утеплювача; 3 – зовнішні залізобетонні стіни; 4 – шари облицювання. Виділений фрагмент описує варіацію розміщення шарів утеплювача, що визначається залежно від призначення, розташування та кліматичних умов.

Для з'єднання, що представлено таким чином, здійснюється декомпозиція на елементи. Для цих елементів на основі моделі сітчастої структури розраховуються значення параметрів для імітаційного моделювання властивостей унікальних конструкцій та підбору оптимальних складових при подальшій їх композиції в нове з'єднання.

Визначення необхідних значень розрахункових параметрів з'єднання проводиться з розв'язанням оберненої задачі: від вже існуючих даних зовнішніх та внутрішніх умов експлуатації та силових навантажень на елемент до параметрів елемента, конструктивне рішення яких повинно задовольняти вказані умови експлуатації. В даному випадку вузловими параметрами сітчастої структури являються координати з'єднань конструкції. При цьому параметрами варіювання можуть виступати як показники жорсткості [6], так і теплопровідності, вологопроникності, тощо, залежно від параметрів, які є суттєвими при проектуванні оптимальної геометрії з'єднань для особи що приймає рішення.

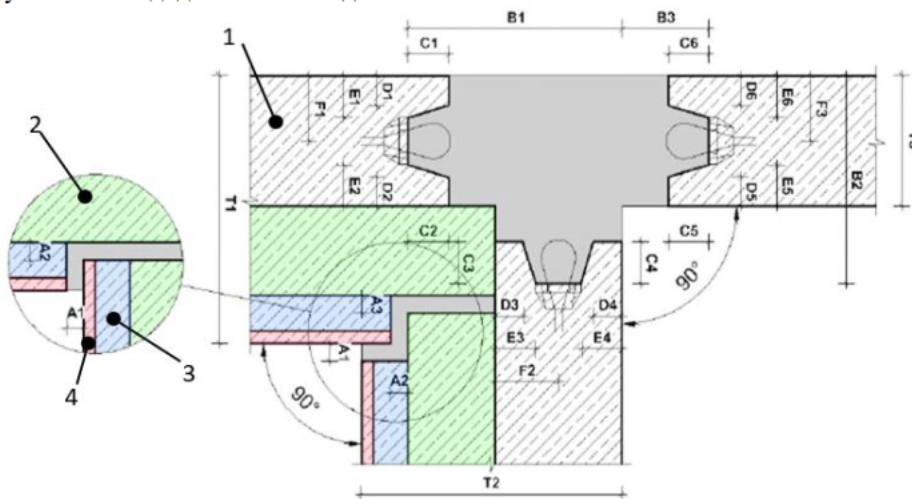


Рис. 2. Схематичне зображення перерізу вертикального з'єднання трьох конструктивних елементів: двох чотири-шарових стінових панелей з монолітною стіною.

Schematic drawing of vertical section connect three structural elements: two four-layer wall panels with a monolithic wall

Таблиця 1.

Фрагмент бази даних геометричних моделей /
Fragment Database of geometric models

СУБЗ за допомогою інтерпретатора даних забезпечує ефективне узгодження між базою даних геометричних моделей (табл. 1) та базою правил, в якій містяться алгоритми розрахунку з'єднань.

Алгоритм реалізації сітчастої моделі:

1. Скласти систему рівнянь рівноваги вузлів сітчастої структури для одного або декількох вузлів згідно формул (1) і (2) відповідно. При цьому, значення параметрів вузлів можуть бути задані як детермінованими, так у вигляді нечітких значень з відповідними рівнями можливостей [4].

2. Визначити рівні можливостей для кожного нечіткого параметра на основі розробленої бази знань. Визначити поточний стан розрахункових параметрів, що записуються у вигляді (6) за заданими початковими умовами, до яких відносяться розміщення елементів, крайові умови та зовнішні і внутрішні впливи на елемент, які задаються згідно формул (3), (4) і (5) відповідно.

3. Скласти параметричне рівняння в'язей сітчастої структури згідно формули (7).

4. Визначити значення величин скалярних потенціалів полів впливів за формулою (9).

5. Розрахувати операційні константи, що записуються за формулою (10), зі складеного параметричного рівняння (7).

6. Розв'язати систему параметричних рівнянь (13) відносно розрахункових параметрів з урахуванням раніше розрахованих величин констант інтегрування.

7. Підставити одержані розрахункові параметри до системи рівноваги вузлів сітчастої структури з подальшим розв'язанням цієї системи відносно вузлових величин сітчастої структури.

Повторити операції 3-7 для формули (12) доти, доки не буде досягнуто оптимального за заданими критеріями рішення [10].

Схема технологічного процесу проектування з'єднань збірних каркасних залізобетонних конструкцій показана на рис. 3.

Робота системи підтримки прийняття рішень (ІСПР) базується на використанні алгоритму проектування з'єднань збірних каркасних конструкцій [8].

Схема технологічного процесу роботи розробленої інформаційної технології проектування з'єднань збірних каркасних залізобетонних конструкцій, показана на рис. 3.

Алгоритм проектування з'єднань збірних каркасних конструкцій автоматизованими системами прийняття рішення на базі запропонованої сітчастої моделі:

1. Введення вхідних параметрів до системи автоматизації проектування з'єднань в збірних каркасних будівлях [8]:

1.1. зовнішнього середовища згідно технічного завдання на проектування [1];

1.2. внутрішнього середовища згідно технічного рішення на проектування [2];

№	Умови формування	Візуалізація моделі
1	$h,$ $\alpha = \pi/2,$ $\beta = -\pi/2$	
2	$h,$ $\alpha = \pi/2,$ $\beta = \pi/2,$ $0 < \gamma < \pi/2$	
4	$h,$ $\alpha = \pi/2,$ $0 < \beta < \pi/2$	
5	$h,$ $0 < \alpha < \pi/2,$ $0 < \beta < \pi/2$	
6	$h,$ $0 < \alpha < \pi/2$	
7	$h,$ l	
8	$h,$ $h_1,$ $l,$ $l_1 < l,$ $0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$	
9	$h,$ $h_1 < h,$ $l,$ $l_1 < l$	
10	$l,$ r	



Рис. 3. Схематичне зображення технологічного процесу /
Schematic representation of the technological process

- 1.3. конструкції, які проектуються на даному етапі (вид та атрибути елементів, що з'єднуються);
 2. Формалізація вхідних даних для розрахунку параметрів сітчастої моделі системою в модулях графічного та числового представлення [8];
 3. Декомпозиція вузла, що проектується на даному на даному етапі;
 4. Розрахунок конструкції модулем розрахунку вузла [8] на базі алгоритму реалізації сітчастої моделі;
 5. Звернення до бази знань (табл. 1), щодо вибору відповідних елементів вузла;
 6. Генерація з'єднань із запропонованих системою альтернатив [3];
 7. Перевірка відповідності розрахункових параметрів спроектованого з'єднання заданим умовам за допомогою САПР до якого інтегрується ІСППР.
 8. Прийняття рішення:
 - 8.1. вибір найкращого з'єднання з представлених системою варіантів згідно умов технічного рішення при наявності задовільних результатів.
 - 8.2. введення змін у процес формалізації та повтор пунктів 2-8 при відсутності задовільного рішення.
 9. Передача даних в проектну САПР та генерація документації.
- Прийняття рішення (пункт 8) виконується ІСППР на основі ранжування альтернатив з'єднання, що розраховується. Ранг залежить від пріоритетності параметрів багато параметричної функції і відображає поле впливів на конструкцію (7-8). В тому випадку, якщо жоден з варіантів не відповідає вимогам особи, що приймає рішення, порядок параметрів функції змінюється та проводиться перерахунок з'єднання.

Потоки даних технологічного процесу описуються наступним чином:

1 – введення вхідних параметрів до системи автоматизації проектування з представленої документації у вигляді технічного завдання та рішення;

2 – передача проектів між розрахунковими та проектними САПР, що реалізується за допомогою внутрішніх процесів вказаних систем;

3 – передача інформації про конструкції, що потребують додаткового проектування та розрахунку їх з'єднань (наприклад огорожувальні стінові панелі складної форми, тощо).

4 – зворотній зв'язок з розрахунковою САПР для перевірки відповідності спроектованих з'єднань вказаним вимогам в документації.

5 – передача необхідних параметрів з'єднання та змінених конструктивних елементів до проектною САПР для їх включення у внутрішню базу даних та подальшого коректного виводу специфікацій.

6 – зв'язок з особою, що приймає рішення для забезпечення контролю роботи ІСППР.

Висновки

1. Реалізація інтегрованої системи підтримки прийняття рішень надає можливість автоматизувати процес проектування в нечітких умовах та умовах невизначеності і суттєво знизити ризики прийняття невірних рішень.

2. Запропонована в даній роботі інформаційна технологія дозволяє:

– вирішити питання підвищення ступеня автоматизації процесу проектування за рахунок застосування бази знань ІСППР, що в свою чергу суттєво прискорює цей процес;

– підвищити надійність прийнятого рішення за рахунок зручного відображення конструктивних рішень при умові звернення до природного інтелекту;

– знизити ризик виникнення помилок специфікації за рахунок адаптації моделі сітчастих структур до нечітких динамічних умов процесу проектування унікальних з'єднань;

– провести розрахунки параметрів унікальних з'єднань збірних каркасних конструкцій, що необхідні при створенні відповідної технічної документації.

3. Ефективна робота ІСППР, що розробляється для проектування унікальних з'єднань з використанням новітніх будівельних матеріалів, та розробка нової проектною документації потребує наповнення бази знань інформацією про властивості, правила застосування та технологію проектування з'єднань з використанням цих матеріалів в різних умовах. Проведення відповідних експериментів є предметом подальших наукових розробок в рамках

науково-дослідної роботи 1ДБ -2015 “Фізико-хімічні основи створення геоцементів і покриттів на їх

основі для захисту бетону від корозії” (номер державної реєстрації 0115U000332).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1.ГОСТ 2.114-95 Единая система конструкторской документации. Технические условия. – Введ. 2006-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2007. – 12с.

GOST 2.114-95 Edinaya sistema konstruktorskoy dokumentatsii. Tekhnicheskie usloviya [State Standard 2.114-95 Unified system for design documentation. Technical requirement], Moscow, Standartinform Publ., 2007, 12p.

2.Державний стандарт України ДСТУ 2.601:2006 Єдина система конструкторської документації. Експлуатаційні документи. – Введ. 2006-01-09. – Москва : Изд-во стандартов, 2006. – 20с.

DSTU Edyna sistema konstruktorskoj dokumentatsii. Eksploatatsiini dokumenty [State Standard GOST 2.601: 2006 Unified design documentation. Operational documents], Moscow, Standartinform Publ., 2006, 20p.

3.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.

Eremenko B.M. Modeliuvannya intelektualnoi systemy dlia diagnostyky tekhnichnogo stanu ob'ektiv budivnytstva [Modeling intellectual system for diagnostics of technical state of construction], *Tekhnologichnyi audyt ta rezervy vyrobnytstva* [Technology of production and reserves audit], 2015, vol. 1/2, no. 21, 44-48 pp.

4.Міхайленко В.М. Інформаційна технологія оцінки технічного стану елементів будівельних конструкцій із застосуванням нечітких моделей / В.М. Міхайленко, О.О. Терентьев, Б.М. Єременко // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2013. – Вып. 70. – С. 133-141.

Mikhailenko V.M. Informatsiina tekhnologiya 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.

5.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.

Nevliudov I. Sh., Andrusyevych A.O., Evseev V.V., Milutina S.S. *Osnovy system avtomatyzovanogo proektuvannia: tekhnichna pidgotovka vyrobnytstva* [Computer-Aided Design Basics: technical preparation of production], Kyiv, National Aviation University, 2014. 360 p.

6.Плоский В.О. Алгоритм управління параметрами в'язей сітчастих структур, на основі корегування величин скалярного потенціалу зовнішніх впливів / В.О. Плоский, В.І. Скочко // Науково-технічний збірник “Енергоефективність в будівництві та архітектурі”. – Київ, 2014. – Вып. 6 – С. 224-231.

Ploskyi V.O. Alorytm upravlinnia parametramy viazei sitchastykh struktur, na osnovi koreguvannia velychyn skaliarnogo potentsialu zovnishnykh vplyviv [The algorithm control parameters Elm mesh structures based on adjustment values of scalar potential external influences]. *Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk “Energoefektyvni v budivnytstvi ta arkhitekturi”* [Scientific and technical collection "Energy

efficiency in construction and architecture"], 2014, issue 6, pp 224-231.

7. Соротюк Т.І. Дослідження видів з'єднань конструктивних елементів каркасних будівель / Т.І. Соротюк // Теорія і практика будівництва. – 2012.– Вып 10. – С. 39-42.

Sorotiuk T.I. Doslidzhennia vydiv zyednan konstruktivnykh elementiv karkasnykh budivel [Research connections kinds of frame structural elements of buildings]. *Teoria i praktyka budivnytstva* [Theory and practice of construction], 2012, issue 10, pp 39-42.

8. Соротюк Т.І. Моделювання системи автоматизації проектування з'єднань в збірних каркасних конструкціях / Т.І. Соротюк, С.А. Теренчук – Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов – №70. – 2013.– С. 219-224.

Sorotiuk T.I. Modeliuvannya systemy avtomatyzatsii proektuvannia zyednan 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.

9. 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.

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.

10. Pashko A.O. Simulations of standard Brownian motion / A.O. Pashko // Computer modelling & new technologies –2014, issue 18(10), pp 516-521.

Pashko A.O. Simulations of standard Brownian motion, Computer modelling & new technologies, 2014, issue 18(10), pp 516-521.

11. 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

12. 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.

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.

13. Wilson, R. H. Geometric reasoning about assembly tools / R. H. Wilson. – Office of Scientific and Technical Information, 1997, pp. 46.

Wilson, R. H. Geometric reasoning about assembly tools, Office of Scientific and Technical Information, 1997, pp. 46.

14. Yeremenko B. Statistical Simulation of Accidental Loads in the Problems of Constructional Mechanics / B. Yeremenko, A. Pashko, S. Terenchuk // Advanced Materials Research. – 2015. – Vol 1122. – P. 249-252.

Yeremenko B. Statistical Simulation of Accidental Loads in the Problems of Constructional Mechanics, Advanced Materials Research, 2015, Vol 1122, P. 249-252.