



НАУКОВІ ОСНОВИ ІННОВАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

<https://doi.org/10.15407/scin16.04.003>

О.Ф. ОСИПОВ, К.В. ЧЕРНЕНКО

Київський національний університет будівництва і архітектури,
просп. Повітрофлотський, 31, Київ, 03037, Україна,
+380 44 241 5580, knuba@knuba.edu.ua

ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПІДНІМАННЯ ВЕЛИКОРОЗМІРНИХ ПОКРИТТІВ

Вступ. Розвиток інформаційних систем сьогодні дозволяє створювати принципово нові та удосконалювати наявні технологічні рішення й методи піднімання великорозмірних покриттів.

Проблематика. Розробка нових організаційно-технологічних рішень, технологій та методів вимагає системних і комплексних досліджень ще на початкових етапах їхнього створення за допомогою сучасних програмних комплексів. Такі дослідження необхідні для усунення недоліків, які можуть виникнути як результат хибних рішень.

Мета. Обґрунтувати організаційно-технологічні рішення при розробці нової технології піднімання великорозмірних покриттів шляхом створення інформаційної моделі процесу піднімання великорозмірного покриття певної деталізації для аналізу складових процесу, умов та недоліків, що виникають при використанні нової технології зазначеного процесу.

Матеріали й методи. Дослідження і розробка інформаційної моделі процесу піднімання великорозмірних покриттів за допомогою знову створюваних вантажопідйомних крокуючих модулів. Використано імітаційно-візуальний метод моделювання процесу, умов та об'єктів, що проходять та задіяні при підніманні великорозмірних покриттів.

Результати. В процесі моделювання на основі запропонованої інформаційної моделі процесу, як певний послідовно-дискретний порядок візуальних образів та параметрів, що досліджуються, було розглянуто організаційно-технологічні особливості використання нової технології піднімання великорозмірних покриттів із одночасним влаштуванням постійних опор та визначено величини дослідних параметрів.

Висновки. Створення інформаційної моделі процесу, яка за суттю належить до класу імітаційних моделей, дозволило значно скоротити час та обґрунтувати прийняті організаційно-технологічні рішення при розробці нової технології. Це дало змогу не тільки порівняти та визначити умови, за якими зазначена технологія має значні переваги над вже наявними, але й у процесі моделювання удосконалити її.

Ключові слова: інформаційне моделювання, великорозмірні покриття, монтаж, інформаційно-візуальна модель, імітаційно-візуальний метод моделювання.

Цитування: Осипов О.Ф., Черненко К.В. Інформаційна модель процесу піднімання великорозмірних покриттів. *Наука іннов.* 2020. Т. 16, № 4. С. 3–11. <https://doi.org/10.15407/scin16.04.003>

ISSN 1815-2066. *Наука іннов.* 2020. 16(4)

Сучасний економічний розвиток України ґрунтується на соціальній доктрині, якою передбачено системне впровадження науково-технічних досягнень, спрямованих на подальше й суттєве вдосконалення технологічних ресурсів соціальної сфери, міської забудови та інфраструктури. Галузі виробничої діяльності та побуту мають стійку тенденцію до постійного розширення і ускладнення, з'являються нові виробництва і сфери послуг, що вимагають розроблення нових, іноді унікальних об'ємно-планувальних та конструктивних рішень будівель і споруд, а також швидке впровадження їх в практику промислового та цивільного будівництва.

Особливо швидкими темпами зростають обсяги будівництва великопрогонових будівель промислового та громадського призначення, що зумовлено стрімким розвитком, перш за все, транспортної та сільськогосподарської інфраструктури в Україні. Але такі будівлі та споруди характеризуються екстремальними технологічними параметрами їхнього зведення, що спричинено унікальними об'ємно-планувальними і конструктивними рішеннями цих будівель та складними умовами будівництва. Процес спорудження великопрогонових будівель складний, відповідальний та потребує значних витрат праці, переважно на висоті. Тому, для зменшення частки висотних робіт, великопрогонові будівлі, як правило, монтують укрупненими блоками. Але ступінь укрупнення обмежується технічними можливостями транспортної інфраструктури та монтажних кранів, а також технологічними труднощами, що виникають при організації монтажних зон та іншими чинниками.

До альтернативних рішень під час спорудження великопрогонових будівель можна віднести так звані, «безкранові методи монтажу», в яких застосовуються різноманітні системи тросових та гідравлічних підйомників. Використання цих методів передбачає задіювання спеціальних засобів піднімання, агрегованих у технічну систему, а безпосередньо сам процес

монтажу здійснюється під управлінням автоматизованої керуючої системи.

Отже, «безкранові методи монтажу» належать до складних функціональних систем, методологія проектування яких передбачає або системні дослідження — для визначення функціонально-цільового обліку системи, і, відповідно, багатоетапне моделювання — для визначення структурно-функціонального обліку, або ж використання результатів експлуатації та застосування систем-аналогів (так званий метод проектування технічних систем «від досягнутого») [2].

При розробці та обґрунтуванні принципово нових методів монтажу проектування «від досягнутого» здійснити практично неможливо. Тому створення нових методів виконання та засобів механізації процесів піднімання великопрогонових покриттів належать до завдань проектування нових складних технологічних систем і потребують ретельних та трудомістких системних досліджень та моделювання. Враховуючи розмірність задачі, виникає потреба у використанні сучасних програмних комплексів та інформаційних технологій, що можуть взаємодіяти зі складними інформаційними моделями.

В Україні та світі тривають широкомасштабні дослідження та вирішуються проблеми, пов'язані зі зведенням великопрогонових будівель і споруд, які досить повно висвітлені у роботах Heino Engel [3] та професора Д.Ф. Гончаренко [4]. Дослідженням та розробці технологій піднімання великорозмірних покриттів «безкрановими методами» присвячено роботи В.І. Торкатюка [5], О.О. Ігнатенка [6], Ю.Т. Собка [7] та інших авторів.

Функціональні можливості інформаційного моделювання розглянуто в статтях А.С. Білика, М. А. Беляєва [8], О.В. Левченко [9]. Об'єктом моделювання в зазначених та інших роботах, як правило, виступають процеси будівельного проектування — будівлі, споруди та їхні частини. Але питання моделювання будівельних

процесів у їхній динаміці з використанням новітніх інформаційних технологій залишаються поза увагою дослідників.

Отже, виникає проблема в обґрунтуванні та розробці нової технології піднімання великорозмірних покриттів за допомогою знову створених вантажопідйомних крокуючих модулів, що належать до класу нових складних технологічних систем, вирішення якої можливо здійснити на основі створення інформаційної моделі будівельного процесу піднімання великорозмірних покриттів.

Основним напрямком інформаційного моделювання є створення цифрових моделей об'єктів різної деталізації, що дозволяє під час моделювання (проектування) удосконалювати, контролювати й виправляти помилки та недоліки. В будівельній галузі такий підхід отримав назву «інформаційне моделювання будівель» (*Building information modeling*) або *BIM*, який сьогодні тільки починає впроваджуватися в Україні. *BIM* — це процес створення моделі будівлі, яку, залежно від завдань, візуалізують із різним рівнем деталізації. При достатній деталізації цифрова модель перетворюється в цифрову копію майбутньої будівлі або споруди.

Цифрова копія будівельного об'єкту — це параметризований «двійник» будівельного об'єкту, який дозволяє подати об'ємно-планувальні й конструктивні особливості та зберегти його фізичні, технічні та інші властивості у цифровому форматі.

Для створення цифрової копії будівельного об'єкту використовують сучасні програмні комплекси, які дозволяють формувати цифрову копію будівельного об'єкту потрібної деталізації. Цифрова копія будівельного об'єкту високої деталізації створює необхідні умови для інформаційного моделювання всіх будівельних (технологічних) процесів, пов'язаних із зведенням об'єкту будівництва.

Інформаційне моделювання будівельних процесів — це обґрунтування і розробка сис-

теми поступових, динамічних перетворень, що фіксуються візуальними образами і параметрами, та дозволяє унаочнити технологічний процес і вирішити протиріччя, що виникають при моделюванні принципово нових систем. Процес моделювання полягає в імітуванні будівельних процесів, організаційно-технологічних рішень та простих робочих операцій в межах цифрової моделі або копії будівельного об'єкту та робочого місця працівника, що дає змогу визначити, порівняти та прогнозувати техніко-економічні показники різних варіантів та, відповідно, обирати найефективніший.

Для моделювання необхідно визначити параметри кожного окремого методу, процесу, способу, операції, які потрібні для їхнього повноцінного функціонування та виконання. Створення таких процесів може відбуватися з урахуванням різних рівнів деталізації та обсягів даних. Наприклад, на початкових етапах моделювання, щоб знизити кількість варіантів, використовують лише декілька параметрів, а зі зменшенням варіантів кількість параметрів збільшують, що дозволяє пришвидшити моделювання та повністю відтворити процес виконання робіт на кожному етапі будівництва.

Інформаційну модель будівельного процесу подають у вигляді системи візуальних образів та параметрів, які дають можливість чітко розуміти, де в просторі й часі розміщуються робоча сила та механізми, що дає змогу ефективніше організувати робочий простір працівників, розміщення технологічного обладнання та механізмів тощо.

Теоретичною основою розробки інформаційної моделі будь-якого будівельного процесу є уявлення про те, що будівельний процес [2], як виробничий процес створення будівельної продукції, є певною сукупністю послідовно-дискретних перетворень матеріальних елементів $\{P_j\}$ кожен акт якого незворотно змінює вихідні властивості матеріальних елементів (внутрішні процеси і явища $\{C^i\}$) і параметри

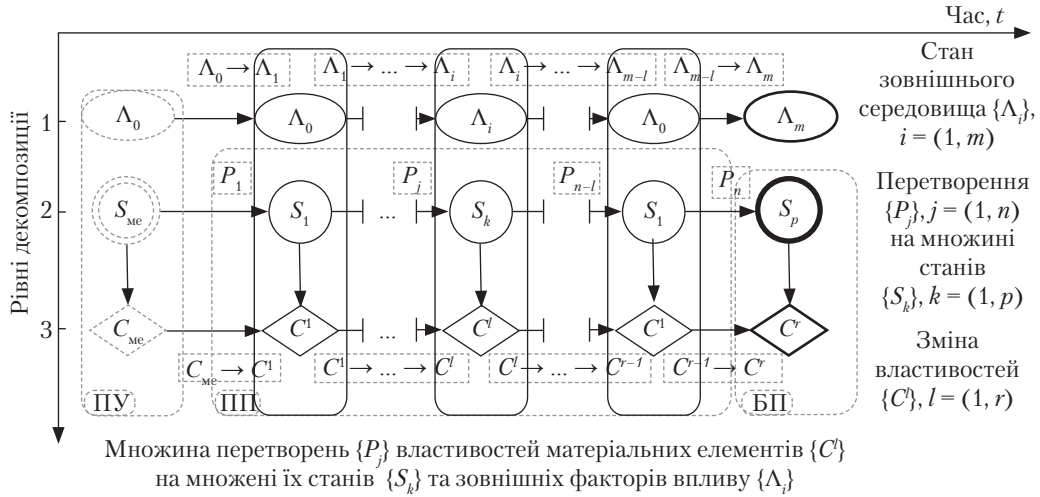


Рис. 1. Процес створення будівельної продукції (БП) як послідовно-дискретні зміни властивостей предметів праці (ПП) [2]: ПУ – початкові умови

зовнішнього середовища $\{\Lambda_i\}$ – умови виконання будівельного процесу (рис. 1).

Отже, процес створення будівельної продукції полягає у послідовно-дискретній зміні властивостей матеріальних елементів $(C^l \rightarrow C^r)$ від вихідного їхнього стану S_{me} (характеризуються вихідними властивостями матеріальних елементів C_{me} та початковими умовами стану зовнішнього середовища Λ_0) до кінцевого $S_{сп}$, що визначає проектні властивості будівельної продукції $C_{сп}$. Причому кожному k -му стану матеріальних елементів S_k відповідає певна l -а властивість C^l , а кожному j -му перетворенню P_j і стану матеріальних елементів S_k відповідає i -й стан зовнішнього середовища, який визначається відповідною множиною факторів впливу Λ_i .

Теоретичну модель будівельного процесу можна подати у вигляді такої формалізованої моделі [2]:

$$(\forall, P_j) \left[\begin{array}{l} (S_k \rightarrow S_p); \\ \exists! (C^l \rightarrow C^r); \\ (\Lambda_i \rightarrow \Lambda_m); \end{array} \right] \quad (1)$$

яка розкриває, що для будь-якого перетворення P_j із множини можливих перетворень $P_j \in \{P_j\}$ існують єдині множини відповідних пе-

ретворень (змін) станів $(S_k \rightarrow S_p)$ і властивостей $(C^l \rightarrow C^r)$ матеріальних елементів, а також умов зовнішнього середовища $(\Lambda_i \rightarrow \Lambda_m)$.

Таким чином, будівельний процес формується як множина послідовно-дискретних перетворень $\{P_j\}$, існуючих на множині станів матеріальних елементів $\{S_k\}$ і множині зовнішніх факторів $\{\Lambda_i\}$, що впливають на процес.

Враховуючи вищенаведене, за інформаційну модель будівельного процесу запропоновано взяти *цільовий послідовно-дискретний ряд візуальних образів та параметрів, що досліджуються*, а саму модель, за суттю, можна віднести до класу імітаційних моделей. Назвемо її *імітаційно-візуальною*, а процес моделювання за нею – *імітаційно-візуальним методом моделювання*. Тоді процес створення будівельної продукції (рис. 1) буде формуватися як *певний порядок послідовно-дискретних перетворень візуальних образів та параметрів, що досліджуються* (рис. 2).

У зазначеній моделі візуальні образи O_k описують стан матеріальних елементів S_k ($O_k \approx S_k$), а процес їхнього перетворення імітує процес перетворення властивостей матеріальних елементів $\{C^l\}$ на множині зовнішніх факторів $\{\Lambda_i\}$.

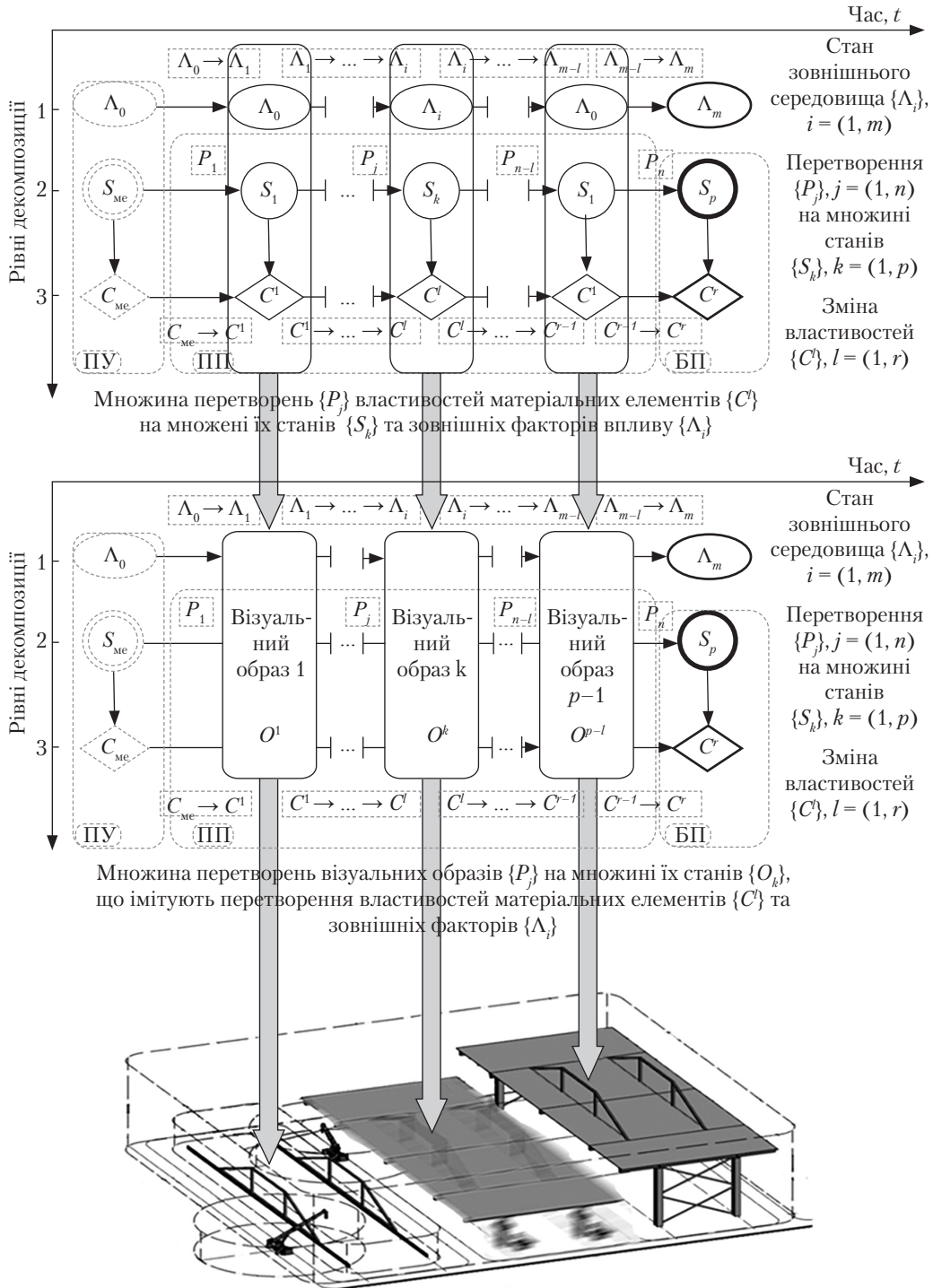


Рис. 2. Процес створення будівельної продукції як послідовно-дискретні перетворення візуальних образів (O^k) (на прикладі розробки нової технології піднімання великорозмірних покриттів)

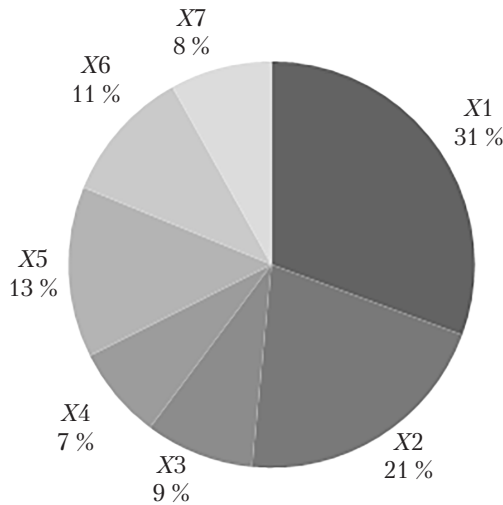


Рис. 3. Ранжування параметрів згідно результатів експертного опитування [10]: X1 – маса блоку; X2 – найбільша висота піднімання; X3 – розміри блоку покриття; X4 – середня тривалість монтажу; X5 – середня продуктивність монтажу блоку покриття; X6 – коефіцієнт енергозатрат на одну годину; X7 – середній склад виконавців

Тоді імітаційно-візуальну модель будівельного процесу можна подати у вигляді такої формалізованої моделі:

$$(\forall, P_j) \left[\begin{array}{l} (O_k \rightarrow O_p); \\ \exists! (C^l \rightarrow C^r); \\ (\Lambda_i \rightarrow \Lambda_m); \end{array} \right] \quad (2)$$

яка розкриває, що для будь-якого перетворення візуального образу процесу P_j із множини можливих перетворень $P_j \in \{P_j\}$ існують єдині множини відповідних перетворень (змін) візуальних образів $(O_k \rightarrow O_p)$ і властивостей $(C^l \rightarrow C^r)$ матеріальних елементів, а також умов зовнішнього середовища $(\Lambda_i \rightarrow \Lambda_m)$.

Отже, імітаційно-візуальна модель будівельного процесу відтворює стан матеріальних елементів (предметів праці), а процес її перетворення (моделювання) – зміни властивостей предметів праці та умов зовнішнього середовища.

Для створення імітаційно-візуальної моделі процесу піднімання великорозмірних покриттів було визначено основні об'ємно-пла-

нувальні та конструктивні рішення будівель і споруд [3], що характерні для об'єктів із великорозмірними покриттями. До останніх належать будівлі із відстанню між опорами несінних конструкцій понад 30 м (відстань може досягати 200 м). Після аналізу таких будівель і споруд було створено цифрову модель, характерну для великопрогонових будівель із великорозмірними покриттями.

Для порівняння організаційно-технологічних рішень методів піднімання великорозмірних покриттів було згруповано та досліджено 16 різних методів піднімання таких конструкцій [10] за їхніми характерними ознаками та показниками монтажної технологічності. Основними показниками монтажної технологічності, визначеними методом експертного оцінювання (рис. 3) і яких достатньо для порівняння організаційно-технологічних рішень методів піднімання великорозмірних покриттів, було обрано: масу блоку покриття, найбільшу висоту підйому, розміри блоку покриття, об'єм блоку, середню тривалість монтажу, середню продуктивність монтажу покриття, середню вагу, затрати енергії та коефіцієнт енерговитрат на одну годину. Дослідивши та порівнявши зазначену інформацію, було запропоновано нову технологію монтажу, що дозволяє одночасне піднімання великорозмірних покриттів масою понад 1000 т на висоту від 27,4 м і вище.

Особливістю такої технології є наступне: після укрупнення великорозмірного покриття у межах робочої зони на низьких риштуваннях виконувалося піднімання великорозмірного покриття шляхом його виштовхування спеціальними домкратними системами – вантажопідйомними крокуючими модулями (ВПКМ) [11] з одночасним встановленням колон шляхом їхнього покрокового нарощування. Це дозволило зменшити кількість трудомістких процесів, що виконуються на висоті. Цикл піднімання великорозмірного покриття крокуючими модулями має такі основні складові [12]:

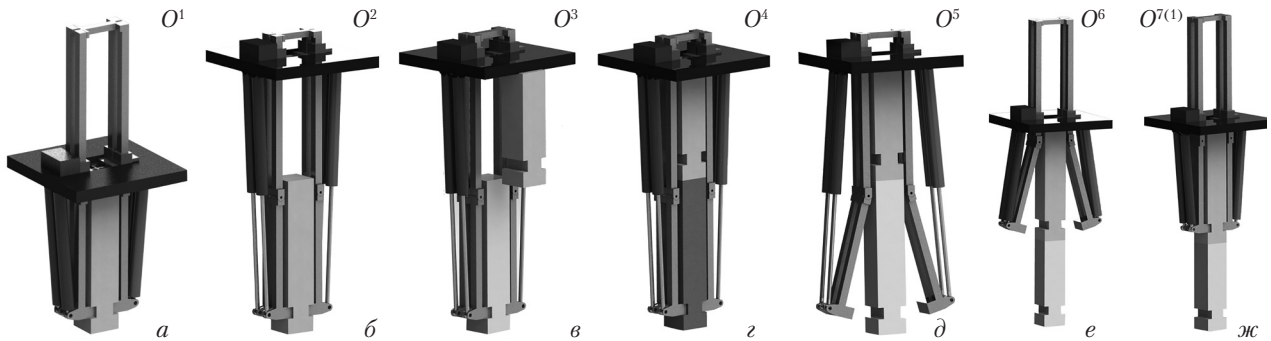


Рис. 4. Візуальні образи (O^k), що описують стани вантажопідійомного крокуючого модуля на множині робочої операції циклу [10]: *а* – початковий стан; *б* – покриття підняте на крок виштовхування; *в* – монтаж чергового опорного елемента; *г* – елемент встановлено, постійно закріплено, покриття спирається на опори (колон); *д, е* – переміщення домкратів у чергове положення; *ж* – початковий стан наступного циклу

- ◆ піднімання укрупненого великорозмірного покриття на необхідну висоту в межах довжини ходу штоку домкрату і його вантажопідійомності;
- ◆ встановлення та тимчасове закріплення елемента колони;
- ◆ вивіряння елементів конструкцій;
- ◆ постійне закріплення елемента колони і тимчасове передавання навантаження від покриття на встановлений елемент колони, крім останнього циклу, де відбувається повне закріплення колони із покриттям;
- ◆ втягування штоку домкрату у початкове положення та обпирання на змонтовані опорні елементи.

Зазначені операції циклічно повторюються до досягнення покриттям проектної відмітки, після чого виконується повний чи частковий демонтаж ВПКМ.

Для створення цифрової моделі процесу піднімання великорозмірних покриттів вантажопідійомними крокуючими модулями використовувалося програмне забезпечення *Solidworks*, Компас. Відпрацювання та оптимізація параметрів технології та технічного вирішення вантажопідійомних крокуючих модулів здійснено імітаційно-візуальним методом моделювання шляхом побудови системи цільових послідовно-дискретних рядів візуальних

образів (рис. 4) потрібної деталізації та призначення.

Під час розробки та обґрунтування нової технології піднімання великорозмірних покриттів із використання ВПКМ постало питання порівняння її із вищезгаданими традиційними методами піднімання великорозмірних покриттів. Для цього на попередньо створеній цифровій моделі споруди, яку було розроблено в програмному комплексі *Autodesk Revit*, проведено імітацію її зведення, використовуючи сучасні комп'ютерні комплекси, такі як *Autodesk Navisworks* та інші. Також, при моделюванні було використано програмне забезпечення *Microsoft Project* для побудови діаграми Ганта, за результатами якої було створено типову циклограму виконання процесу піднімання великорозмірного покриття.

Отже, в ході дослідження наведено теоретичні основи створення інформаційної моделі будівельного процесу, яка розглядається як певний послідовно-дискретний порядок візуальних образів та параметрів, що досліджуються. Модель належить до класу імітаційних та названа авторами «імітаційно-візуальною моделлю будівельного процесу», а власне сам процес моделювання — «імітаційно-візуальним методом моделювання». Завдяки застосуванню цієї моделі та методу свого часу було

розроблено нову технологію піднімання великорозмірних покриттів із використанням знову створюваних вантажопідйомних крокуючих модулів, що дозволило відпрацювати її технічні та технологічні параметри та обґрунтувати техніко-економічну ефективність вико-

ристання. Застосування імітаційно-візуальної моделі можливо під час моделювання будь-якого будівельного процесу, що виконується за допомогою знову створюваних складних технологічних систем — роботизованих комплексів, рухомих комбайнів тощо.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Черненко В.К., Осипов О.Ф., Тонкачєв Г.М., Романушко Є. Г., Назаренко І. І., Череп В. І., Чертков О. Ю., Черненко К. В., Осипов С.О. *Технологія монтажу будівельних конструкцій*. Київ: Горобець, 2011. 372 с.
2. Осипов А.Ф. *Адаптивные динамически трансформирующие технологические системы. Методология проектирования организационно-технологических решений реконструкции зданий*: монографія. Київ: ЦП «Компринт», 2016. 364 с.
3. Heino Engel. *Structure Systems*. Stuttgart: Hatje Cantz, 2007. 352 с.
4. Гончаренко Д.Ф., Евель С.М., Зубко Г.Г., Старкова О. В. *Строительство и реконструкция стадионов*. Харків: Колорит, 2013. 351 с.
5. Торкатюк В.И. *Монтаж конструкций большепролетных зданий*. Москва: Стройиздат, 1985. 70 с.
6. Игнатенко А.А., Глущенко И.В. Развитие технологии подъема покрытий гидropодъемными установками. *Пром. стр-во и инж. соруж.* 1992. С. 26–27.
7. Собко Ю.Т., Черненко В.К. Дослідження основних технологічних показників, що впливають на безкранові методи піднімання структурних покриттів. *Нові технології в будівництві*. 2016. № 31. С. 50–58.
8. Білик А.С., Беляєв М.А. ВІМ-моделювання. Огляд можливостей та перспективи в Україні. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. 2015. № 2. С. 9–15.
9. Левченко О.В. ВІМ — інформаційне моделювання будівель в програмних продуктах Autodesk. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2015. № 25. С. 81–86.
10. Осипов О.Ф., Черненко К.В. Дослідження технологічних процесів укрупнення і піднімання великорозмірних покриттів із застосуванням вантажопідйомних крокуючих модулів. *Управління розвитком складних систем*. 2014. № 19. С. 164–174.
11. *Патент України № 76242*. Рашківський В.П., Черненко К.В. Пристрій для монтажу покриття споруди. МПКЕ04G 21/14, В66F 7/00 заявл. 22.06.2012, опубл. 25.12.2012, Бюл. № 24. 4 с.
12. *Патент України № 76241, МПК*. Рашківський В.П., Черненко К.В. Спосіб для монтажу покриття споруди. E04G 21/14, В66F 7/00. заявл. 22.06.2012, опубл. 25.12.2012, Бюл. № 24. 3 с.

Стаття надійшла до редакції / Received 27.08.19

Статтю прорецензовано / Revised 02.12.19

Статтю підписано до друку / Accepted 17.02.20

Osipov, A.F., and Chernenko, K.V.

Kyiv National University of Construction and Architecture,
31, Povitroflotsky Ave., Kyiv, 03037, Ukraine,
+380 44 241 5580, knuba@knuba.edu.ua

INFORMATION MODEL OF THE PROCESS OF LIFTING A LONG SPAN ROOF

Introduction. Development of information systems allows creating, modelling and improving technological solutions of lifting and assembling long span roofs.

Problem Statement. Development of new organizational and technological solutions, technologies and methods requires a complex research at the initial stages of their creation with the help of software. These studies help to avoid problems and misleading that may occurs as a result of wrong decisions.

Purpose. To substantiate organizational and technological decisions in the development of new technology of lifting long span roofs, by creating an information model of the process for lifting long span roofs with certain detalization to analyze the components of the process, conditions and disadvantages that occurs when using the new technology of lifting long span roofs.

Materials and Methods. Research and development of information model of the process of lifting large-scale coverings with the help of newly created load-lifting walking modules. A method for simulating the process, conditions, and objects involved in lifting large-scale coatings was used.

Results. In the process of modelling based on the proposed information model of the process, organizational and technological peculiarities of the use of new technology of lifting long span roofs with simultaneous arrangement of permanent supports and determined values of the experimental values were considered as a certain series-discrete order of visual images and parameters.

Conclusions. Creating an information model of the process, which essentially belongs to the class of imitation models has allowed significantly reducing the time and substantiate the organizational and technological decisions while development of new technology. This has enabled not only comparing and identifying the conditions under which such technology has significant advantages over existing ones, but also improving it.

Keywords: information modelling, long span roofs, lifting, information model, information-visual model, simulation-visual modeling method.