

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 69-057.57:658.5

Д. В. САЙКОВ*

*Кафедра «Промислове та цивільне будівництво», Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006, тел. +38 (098) 544 80 81, ел. пошта vip.s.danil@gmail.com, ORCID 0000-0001-7616-0199

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ФОРМАЦІЇ ОПТИМІЗАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ОРГАНІЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ПІДРЯДНИХ ПІДПРИЄМСТВ НА ПЛАТФОРМІ ЕВОЛЮЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Мета. Дослідження полягає в розробці та імplementації в новітню практику будівництва науково-методичних підходів диференціації та планування організаційних процесів будівельно-монтажних робіт підрядних підприємств на стадії ініціювання реалізації проекту із детермінованими умовами фінансування. Ідентифікація концептуальних засад щодо оптимізації враховує сучасну кон'юнктуру вітчизняного ринку будівельних послуг, умови господарювання будівельно-монтажних підприємств. **Методика.** Вибір теоретико-методологічного інструментарію оптимізації організаційних процесів підрядної організації базується на аналізі наявних ресурсів підприємства, зіставленні їх з розподілом обсягів будівельно-монтажних робіт в рамках стратегії розвитку та фінансування підрядної організації, підвищення її конкурентоспроможності. Методологія моделювання системи організаційних процесів будується на платформі еволюційної стратегії будівельних процесів, тобто на базі множини оптимальних траєкторій регулювання процесами формуються еволюційні стратегії з урахуванням стандартних операторів еволюційних обчислень. **Результати.** Використання оператора випадково-детермінованого обміну (схрещування), що відповідає природному процесу успадкування, показує забезпечення передачі властивостей новим еволюційним стратегіям (нащадкам). Після закінчення етапу схрещування виконуються оператори випадкової зміни еволюційних стратегій (мутації). Вказані вище оператори застосовуються багаторазово, що в свою чергу призводить до поступової зміни вихідної популяції. Процес генерації триває до того часу, поки не буде досягнуто детермінованого рівня збіжності, отже отримана популяція досягне заданої фітнес-функції (цільової функції оптимізації задачі). Якщо критерієм зупинки стає якість популяції, швидкість алгоритму оцінюється часом досягнення цієї якості. **Наукова новизна.** Генетичні алгоритми показують вагомі імplementаційні характеристики щодо вирішення завдань оптимізації організаційних процесів будівництва, зокрема календарного та бізнес-планування. Методологічні засади еволюційного моделювання, зокрема із використанням ЕОМ, значно спрощують операційні завдання та сприяють отриманню бажаного результату. **Практична значимість.** Структурування популяції дозволяє підвищити ефективність алгоритму пошуку оптимального управління організаційними процесами. Еволюційне моделювання набуває легітимності при інтерактивному регулюванні будівельного виробництва підрядного підприємства. Їх застосування виправдане особливо у тих випадках, коли при управлінні будівельними процесами точний оптимум не потрібен: рішенням може вважатися будь-яке значення, яке краще за директивну або нормативну величину.

Ключові слова: підрядне підприємство; організаційний процес; модель оптимізації; еволюційне моделювання; генетичні алгоритми

Вступ

Вітчизняний будівельний ринок є динамічною інстанцією, що постійно змінюється. Інтенсифікація тиску регуляторної політики у сфері капітального будівництва призводить до жорстких вимог щодо якості та рівня будівельних послуг підрядних підприємств. На фоні зазначених трансформацій постає необхідність

адаптації підрядних організацій до економічних чинників, що, в свою чергу, є запорукою підтримання та підвищення рівня їх конкурентоспроможності. Аналіз наукових джерел ідентифікує фундаментально-якісний рівень планування організаційних процесів будівельного виробництва як базову складову зростання показників конкурентоспроможності на будівельному ринку (Радкевич, Арутюнян, & Сайков, 2019b;

Arutiunian, Dankevych, Arutiunian, Saikov, & Poltavets, 2020; Рижаків, Пакова, Хоменко, & Максим'юк, 2020). Актуальність роботи полягає у вирішенні вимог стратегічного планування та у цілковитій відповідності прийнятої оптимізаційної моделі найактуальнішим поточним потребам підрядного підприємства, її зручності та прозорості для всіх учасників організаційних процесів, безпосереднім узгодженням з діючими нормативно-правовими і законодавчими стандартами в сфері капітального будівництва.

Аналітично-теоретичним підґрунтям дослідження стали наукові роботи Д. А. Рижаків, О. А. Тугая, А. В. Радкевича, І. Д. Павлова, В. А. Поколенко, І. А. Арутюнян, Н. О. Данкевич, Н. С. Курченко, Ф. Г. Ахмадієва, Д. В. Алтухова, А. В. Бахуновського та ін. Опрацьований науково-методичний доробок щодо виявлення безпосереднього пливу якості будівельно-монтажних послуг, темпів будівництва, виконання договірних зобов'язань на економічній репутацію та конкурентоспроможність підрядного підприємства, регламентує методологічні витoki оптимізаційної моделі в системі організаційних процесів будівельного виробництва. Обґрунтована теоретично-наукова експозиція в свою чергу доводить облігаторність імплементації оптимізаційної моделі на засадах нарощення рівню економічної ефективності, отримані переваги у конкурентній боротьбі з врахування сучасних вимог кон'юнктури будівельного ринку.

Мета

Трансформація сучасного будівельного ринку створює певні умови господарювання для суб'єктів підприємництва, зокрема підрядних організацій, основною продукцією яких є надання будівельно-монтажних послуг. Кон'юнктура нестійкого ринку із врахуванням поточної динаміки її розвитку імпліцитно факторизує функціонування підрядних підприємств, яке охоплює широкий спектр галузевих проблем: від організаційно-технічних до економічних. Облігаторність диференціації матеріально-трудових ресурсів в рамках організації будівельного виробництва шляхом впровадження моделей оптимізації продиктована інтенсивними темпами зростання масштабів і складності будівельних проєктів. Зокрема, така констатація й

генерує вимоги до строків виконання будівельно-монтажних робіт підрядних підприємств.

Розробка теоретико-методологічного інструментарію, формування концепції та імплементація оптимізаційної моделі на науково-прикладних засадах еволюційного моделювання дозволить ефективно розподіляти часові, економічні, якісні параметри організаційних процесів будівельного виробництва, згенерує критичне осмислення зі створення практичного підґрунтя для досягнення підрядними підприємствами найбільшого рівня конкурентоспроможності на ринку будівельних послуг.

Методика

Вирішення детермінованої оптимізаційної задачі першочергово генерує потребу ідентифікації математичного методу, який приводив би до кінцевих результатів з найменшими витратами на обчислення або давав можливість отримати найбільший обсяг інформації про рішення. Вибір того чи іншого методу значною мірою визначається постановкою завдання оптимізації (цільова або фітнес-функція), а також математичною моделлю об'єкта оптимізації (Тугай, Чуприна, Чуприна, Горбач, & Малихін, 2021). Виходячи з цих положень, критерій оптимізації повинен відповідати наступним вимогам:

- 1) вимірювати ефективність системи;
- 2) бути кількісним, тобто висловлюватися однозначно деяким числом;
- 3) бути ефективним у статистичному значенні, повинен мати порівняно невелику дисперсію і, отже, визначатися з достатньою точністю без великих витрат часу;
- 4) мати повноту опису об'єкта;
- 5) бути простим, коли це сумісне з вимогою повноти, і мав фізичний сенс: у цьому випадку знижується можливість помилки під час його застосування.

Крім цього, коли критерій має фізичний сенс, часто вдається досить легко знайти оптимальну характеристику роботи системи та порівняти її з реальною характеристикою (Алтухова, 2017; Радкевич, Арутюнян, & Сайков, 2019a; Arutiunian, Dankevych, & Saikov, 2021). Зазвичай корисно знати, чи досягнуто теоретичний ліміт або існує значний простір для оптимізації. Зокрема, для прийняття раціонального рішення щодо необхідності оптимізації треба

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

враховувати й зовнішні фактори впливу. Рівень використання ресурсів можливо корегувати змінюючи напрямки організаційних процесів підрядної організації (табл. 1).

Таблиця 1

Вектори оптимізації організаційних процесів будівельного виробництва

Політика і заходи	Рівень використання
Зниження операційних витрат	Ринковий потенціал
Підвищення конкурентоспроможності підрядної організації	Економічний потенціал (індивідуальний)
Підвищення рівня освіти та розповсюдження інформації	Соціальний потенціал (суспільство в цілому)
Удосконалення технологій	Технічний потенціал

Диспозиційна гіпотеза визначає, що метаевристичний метод може вирішити проблему оптимізації, імітуючи процеси деяких природних явищ, зокрема розвитку складних систем. Теоретико-методологічний аналіз був спрямований на мінімізацію часу виконання проєкту та вартості, щоб досягти максимального прибутку. Тим не менш, мінімізація часу та витрат матиме вплив на якість будівельного проєкту та ризику, який має ще більш важливе значення для успішну реалізацію об'єкта будівництва (Мелихова, 2015; Курченко, & Алексейцев, 2017; Касаткина, & Вавилова, 2020). На жаль, вищезазначені ключові фактори були забуті у більшості досліджень, проведених дотепер. Передбачається, що багатоцільова проблема оптимізації організаційних процесів будівельного виробництва з урахуванням як мінімізація витрат часу та вартості, так і максимізації якості за умови множинних зовнішніх обмежень системи, могла б бути розв'язана на науково-методологічній платформі еволюційного моделювання.

Еволюційне моделювання (*evolutionary computation*) базується на механізмах та принципах біологічної еволюції, які використовуються для конструювання інтелектуальних систем та включає низку напрямків, таких як розробка генетичних оптимізаційних алгоритмів; еволюційне програмування (розробка еволюційних алгоритмів та обчислювальних процедур, еволюційні стратегії, генетичне програмування); розробка еволюційних моделей загального призначення; прикладне еволюційне моделювання (зокрема з допомогою методів агентного моделювання) (Муромцев, Грибков, Шакин, & Тюрин, 2019). Провідною особливістю

науково-методологічного інструментарію еволюційного моделювання є інтерпретація механізмів біологічної еволюції, зокрема селекції, схрещування та мутації особин, що є основними сутностями моделі. Допускається як природна еволюція, яка не передбачає зовнішнього втручання в систему, так і директивна еволюція, заснована на критеріальній селекції особин у популяції, наприклад, на основі оцінки значення фітнес-функції пристосованості особин. Відповідно до цього, при спрямованій еволюції найважливішим завданням є пошук оптимальної стратегії відбору кращих особин та розвитку популяції, що являє собою базову тезу наукової гіпотези даної роботи (Бухановский, & Нечаев, 2011; Claveria, Monte, & Torra, 2019).

Застосування стохастичних методик інструментарію, зокрема генетичних алгоритмів (*genetic algorithms*), значною мірою обґрунтовано для NP-повних оптимізаційних завдань, до яких відноситься раніше окреслена оптимізаційна задача. Загальне завдання однокритеріальної оптимізації на платформі еволюційного моделювання має вигляд:

$$\max f(x), D = \{x = (x_1, x_2, \dots, x_N) \mid x_i \in [a_i, b_i], i = 1, 2, \dots, N\}, \quad (1)$$

де $f(x)$ – цільова функція (фітнес-функція); x_i – проєктні параметри критеріальної оптимізаційної задачі; N – кількість проєктних параметрів; a_i, b_i – граничні обмеження показників параметра.

Фітнес-функція $f(x)$ може бути задана аналітично, у форматі таблиці або бути результатом чисельного експерименту. Необхідно підкреслити, що у першому випадку застосування генетичних алгоритмів невиправдане, оскільки

існує клас градієнтних методів оптимізації, що дозволяють отримати чітке рішення. У другому випадку застосування генетичних алгоритмів та інших методів стохастичної оптимізації стає єдиною можливим підходом, за умови, що обчислювальна складність завдання така, що прямі чисельні алгоритми (алгоритми нульового порядку, наприклад метод Гаука-Дживса, алгоритм Нелдера-Міда) не працюють або неефективні (Wilson, Rodrigues, Segura, Loshchilov, Hutter, Buenfil, & Cussat-Blanc, 2018).

Оскільки, окреслена задача оптимізації організаційних процесів будівельного виробництва належать до завдання NP-класу, тобто задач, розв'язання яких можна перевірити на недетермінованій машині Тюрінга за поліноміальний час. Інакше, для знаходження вирішення такої оптимізаційної задачі у гіршому випадку потрібен повний перебір всіх рішень (що і обумовлено недетермінованістю машини Тюрінга) на традиційному комп'ютері. Зокрема, генетичні алгоритми дозволяють здійснити повний перебір рішень за умови недопущення передчасної збіжності, що забезпечується оператором мутації. Відповідно, методологічна платформа еволюційного моделювання здатна вирішувати завдання оптимізації будівельного виробництва (Сайков, 2017; Павлов, Полтавець, & Павлов, 2020).

Результати

Підрядне підприємство ініціює реалізацію будівельного проєкту директивною тривалістю T та кошторисною вартістю C в межах обумовленого графіку фінансування замовника (держзамовлення або приватне інвестування) з визначеними показниками капіталовкладень в певний період будівництва I . Цільова двокритеріальна функція задачі виходить з оптимізаційного завдання щодо мінімізації відхилень Q кошторисної вартості організаційного процесу будівництва C_n від значення фактичних фінансових ресурсів замовника I_n у детермінований n -період будівництва:

$$Q = \sum_{n=1}^T |C_n - I_n| \rightarrow \min, \quad (2)$$

де T – нормативна (директивна) тривалість етапу будівельного виробництва, на якому виконуються капіталовкладення.

Відповідно до планових показників матеріально-технічних потужностей підрядне підприємство розробляє початковий календарний графік організаційних процесів будівельних робіт, виконує координацію з генеральним графіком бюджетування замовника на заявлених умовах фінансування проєкту будівництва.

Вирішення двокритеріальної оптимізаційної задачі починається з розрахунку значення критичного шляху $T_{кр}$ розробленого календарного графіку будівельного виробництва. При цьому, гранично допустимі значення тривалості організаційних процесів визначаються коефіцієнтом сенситивності:

$$K_s = \frac{T_f}{T}, \quad (3)$$

де T_f – фактична тривалість організаційного процесу з врахуванням детермінованих умов забудови, показників кон'юнктури будівельного ринку та потенціалу будівельно-монтажної організації.

Ініціюється процес формування шляхом випадкових генерацій базової популяції P_β із заданням значення N . Рекомендовано приймати ціле значення $N \in [5;15]$, при цьому $P_\alpha = \emptyset$, де P_α – ефективна (елітна) популяція. Популяція P_β композиційно розподіляється на дві групи P_1 та P_2 таким чином, що $P_\beta = P_1 + P_2$, причому $P_1 \subset P_\beta$, $P_2 \subset P_\beta$, $P_1 \not\subset P_2$. Надалі для кожної особи з базової популяції P_β виконується перевірка обмеження виду за формулою:

$$\mu(S_i) = T - T_{кр}(S_i), \quad (4)$$

де $T_{кр}(S_i)$ – тривалість критичного шляху ефективної (елітної) особи популяції.

Детермінуючи реалізаційні умови оптимізаційної задачі генерується заміна первинних особин базової популяції P_β , для яких $\mu(S_i) < 0$, новими елітними особинами за наступними умовами:

$$\begin{aligned} & \text{if } (\forall S_i \in P_1) \exists S_i : \mu(S_i) < 0 \Rightarrow \\ & \left\{ \begin{aligned} P_\alpha = \emptyset & \rightarrow S_i = \{rnd(s_1), \dots, rnd(s_n)\} \\ P_\alpha \neq \emptyset & \rightarrow S_i = \tilde{S}_{rnd(\tilde{i})} \in P_\alpha \end{aligned} \right. \\ & \text{if } (\forall S_i \in P_2) \exists S_i : \mu(S_i) < 0 \Rightarrow Q(S_i) \times W \end{aligned} \quad (5)$$

$$W = \left(1 + \chi \left(\frac{T_{кр}(S_i)}{T_n} - 1 \right) \times \left(\frac{T_{кр}(S_i)}{T_n} - 1 \right) \right),$$

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

де rnd – оператор випадкового вибору елемента з множини, який заданий набором дискретних величин; $\chi(x)$ – функція Гевісайда від деякої змінної величини x , при чому $\chi(x) = 0$, якщо $x < 0$; $\chi(x) = 1$, якщо $x \geq 0$.

Корегування елітної популяції P_α , яка адаптувала ефективні стратегії оптимізації, виконується за наступною ітерацією:

$$\left\{ \begin{array}{l} (\forall S_i \in P_\beta) \exists S_i \notin P_\alpha \\ Q(\forall S_i \in P_\beta) < Q(\forall \tilde{S}_i \in P_\alpha) \end{array} \right\} \Rightarrow \quad (6)$$

$$\tilde{S}_i \in P_\alpha = S_i \in P_\beta$$

Наприкінці розрахунку формується імплементаційний пакет багатоточкових операторів мутації, селекції и кросинговеру. Зазначені процедури детермінують до аналогічних процедур живої природи, безумовно, на поточному рівні наукового знання про них. Процедура «селекція» може серед випадкових елементів популяції обирати елемент з найбільшим значенням $f(i)$, де i – вектор ефективної стратегії. В той же час, «схрещування» може за векторами i_1 та i_2 будувати новий вектор i , привласнюючи з ймовірністю 0,5 відповідну координату кожного з цих векторів-батьків. Процедура «мутація» ідентифікується зміною з певною ймовірністю для кожного вектора його координат на протилежні, наприклад 0 на 1, і навпаки (Чижаков, 2006; Курченко, 2018; Насыбуллин, Ахмадиев, & Бахарева, 2020).

Методологічна платформа детермінує інструментарій операторів мутації, які реалізовані в наведеній системі оптимізаційної моделі, зокрема випадкову, обмін, скремблінг та інверсію (рис. 1-4). Випадкова мутація незалежно змінює значення деяких генів, при чому їх кількість, зазвичай визначається певною константою «mutation percent genes». Для кожного гена генерується випадкове значення відповідно до директивного діапазону, визначеного двома атрибутами «random mutation min val» та «random mutation max val», після чого отримане значення додається до обраного гена. Оператор обміну приводить до протилежно координованої зміни значень двох генів, що безпосередньо підлягають мутації. При інверсивній мутації вибирається підмножина генів, яка в подальшому інвертується, а оператор скремблінгу призводить до рекомбінації у випадковому порядку деякої підмножини генів (Kyriklidis, &

Dounias, 2016; Doerr, & Neumann, 2019; Курченко, & Алексейцев, 2020).

До мутації

18	21	24	18	24	16	21	29	17	25
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Після мутації

18	21	24	20	24	16	24	29	17	20
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Рис. 1. Схема дії оператора випадкової мутації

До мутації

18	21	24	18	24	16	21	29	17	25
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Після мутації

18	21	24	21	24	16	18	29	17	25
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Рис. 2. Схема дії оператора обміну

До мутації

18	21	24	18	24	16	21	29	17	25
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Після мутації

18	21	24	21	16	24	18	29	17	25
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Рис. 3. Схема дії оператора інверсії

До мутації

18	21	24	18	24	16	21	29	17	25
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Після мутації

18	18	21	16	24	24	21	29	17	25
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Рис. 4. Схема дії оператора скремблінгу

Реалізація операторів генетичного алгоритму на хід критеріальної оптимізації завершується перевіркою параметрів зупинки розрахунку: якщо після закінчення $n/\sqrt[3]{n!}$ ітерацій зміни в елітній популяції P_α відсутні, розрахунок закінчується. Отриманий результат вважається рішенням оптимізаційної задачі та імплементується до базису показників модернізованого календарного плану організаційних процесів будівельного виробництва, який підлягає остаточному затвердженню.

Аналітична парадигма математичного алгоритму розробленої моделі оптимізації форму-

лює тезис, згідно якого організація будівельного виробництва – це комплексна взаємопов’язана ієрархічно-структурна еволюційна система функціонально-цільової підготовки підприємства до виконання окремих видів або комплексу будівельно-монтажних робіт із розподіленням загальної черговості і термінів їх виконання, постачання всіх видів ресурсів для досягнення ефективності та необхідної якості виконання робіт, будівництва об’єктів загалом. Тобто, система організаційних процесів будівельного виробництва забезпечує цілеспрямованість всіх організаційно-технічних і технологічних рішень на досягнення кінцевого результату – введення об’єкта в експлуатацію з необхідними показниками якості та в установлені замовником строки з найменшими ресурсними і економічними витратами. Методологічно еволюційне моделювання детермінує процес розрахунку системи організаційних процесів як створення допустимих її станів та процедури їх відстеження (траєкторій). Наведена констатація вищезазначених положень значною мірою формує оптимізаційну задачу організаційних процесів будівельних процесів підрядного підприємства.

Наукова новизна та практична значимість

Результати порівняльного аналізу існуючих кластерів еволюційного моделювання показали певні методологічні різниці між ними. Ці відмінності стосуються форми інтерпретації цільової функції та альтернативних рішень, операторів рекомбінації, мутації та ймовірностей їх використання, стратегії селективного відбору та методів підвищення ефективності еволюційних обчислень шляхом адаптації (Радкевич, Арутюнян, & Сайков, 2019с; Бондар, Медяник, Поколенко, Бушуєва, & Мудра, 2021). Композиційна теза дозволяє говорити про базові постулати, такі як універсальність і фундаментальність, властиві еволюції незалежно від форми та рівня абстракції оптимізаційної моделі. Вирішальною обставиною з метою оцінки практичної придатності та результативності методологічної платформи еволюційного моделювання є швидкість (час, необхідне виконання заданого користувачем числа ітерацій) і стійкість пошуку, тобто здатність постійно від покоління до покоління збільшувати якість популяції стій-

кість до потрапляння у точки локальних екстремумів.

З цього погляду еволюційні обчислення набувають низку імплементаційних характеристик в рамках оптимізації організації будівництва, детермінуючими з яких є наступні:

1) можливість проблемно-орієнтованого кодування рішень, підбору початкової популяції, комбінування еволюційних обчислень з нееволюційними алгоритмами, продовження процесу еволюції до того часу, поки є необхідні ресурси;

2) придатність для пошуку у складному просторі рішень великої розмірності;

3) відсутність обмежень на вигляд цільової функції;

4) інтегрованість еволюційних обчислень з іншими неklasичними парадигмами штучного інтелекту, такими, як штучні нейромережі та нечітка логіка.

Детермінована науково-практична конфігурація посилює імплементаційний базис еволюційних обчислень, який полягає у вирішенні завдання багатовимірної оптимізації з мультимодальними фітнес-функціями, котрим немає відповідних нееволюційних методів рішення стохастичних завдань.

Висновки

Генетичні алгоритми придатні для вирішення різноманітних оптимізаційних завдань: їх ефективність буде тим більшою, чим більша кількість можливих варіантів. Апелюючи до визначеної тези, зміна підсистем зовнішнього середовища системи експліцитно надає різноспрямований вплив на швидкість поведінкової еволюції популяції, з одного боку, розширюючи можливості зростання носіїв бажаних стратегій, з іншого – посилюючи тиск на носіїв небажаних. Окреслена конфігурація призводить до інтенсифікації адаптації організаційних процесів в умовах найефективніших стратегій, виродженню у популяції значної частини неадаптованих низькоефективних особин. Подібні ситуації протидіють більш «плоским» видам функцій інституційної структури популяції організаційних процесів та збереженню «хвостів» фітнес-функцій (Радкевич, Арутюнян, Данкевич, & Сайков, 2017; Сайков, & Арутюнян, 2019).

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Аналітичні результати дозволяють зробити висновок, що оптимізаційні заходи формують можливості виродження носіїв небажаних особин та призводять до інтуїтивно результуючих ефектів, наближених до планованих. Відповідно, прискорення дифузії бажаних стратегій оптимізації надають детерміновано комбінований вплив: стимулювання збільшення носіїв ефективних стратегій та ліквідація зростання неефективних особин. Критична оцінка оптимізації на методико-аналітичній платформі еволюційного моделювання диктує створення умов відбору, кваліфікованого для всіх особин, власне інтеграцію визначених еволюційних механізмів дифузії. Конклюдія отриманих положень аргументує посилення інструментарію зростання результативних особин, необхідність спрощення їх входу в популяцію, зокрема підвищення її інформаційної прозорості як механізму збільшення кількості організаційних процесів у популяції, що адаптували найефективніші стратегії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Arutiunian, I., Dankevych, D., Arutiunian, Y., Saikov, D., & Poltavets, M. (2020). Innovative models of choice and substantiation of adoption of optimal organizational-technological decisions of construction production. *Journal of Critical Reviews*, 7(14), 506-508.
- Arutiunian, I., Dankevych, N., & Saikov, D. (2021). Efficiency evaluation of organisational processes system in a building production with simulation modeling for contracting companies. *Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice*, 19, 99-107.
- Claveria, O., Monte, E., & Torra, S. (2019). Evolutionary computation for macroeconomic forecasting. *Computational Economics*, 53(2), 833-849.
- Doerr, B., & Neumann, F. (Eds.). (2019). *Theory of evolutionary computation: Recent developments in discrete optimization*. Springer Nature Switzerland AG.
- Kyriklidis, C., & Dounias, G. (2016). Evolutionary computation for resource leveling optimization in project management. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 23(2), 173-184.
- Wilson, D., Rodrigues, S., Segura, C., Loshchilov, I., Hutter, F., Buenfil, G. L., & Cussat-Blanc, S. (2018). Evolutionary computation for wind farm layout optimization. *Renewable energy*, 126, 681-691.
- Алтухова, Д. В. (2017). Математична модель розрахунку тривалості будівництва. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 69, 140-147.
- Бондар, О. А., Медяник, В. Ю., Поколенко, В. О., Бушуєва, Н. С., & Мудра, М. С. (2021). Методологія формування операційної системи девелопера в будівництві. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*, 1(47), 64-78.
- Бухановский, А. В., & Нечаев, Ю. И. (2011). Эволюционное моделирование задач многокритериальной оптимизации в системе исследовательского проектирования морских судов. *Искусственный интеллект*, 3, 42-54.
- Касаткина, Е. В., & Вавилова, Д. Д. (2020). Математическая модель оптимального развития экономики предприятия. *Статистика и экономика*, 2, 72-81.
- Курченко, Н. С. (2018). Выбор организационно-технологических решений для объектов строительства с учетом случайных факторов. *Системные технологии*, 2(27), 64-68.
- Курченко, Н. С., & Алексейцев, А. В. (2017). Эволюционная модель поиска рационального распределения ресурсов при ограничении продолжительности строительства. *Наука и бизнес: пути развития*, 4, 19-23.
- Курченко, Н. С., & Алексейцев, А. В. (2020). Оценка организационной надежности календарного моделирования строительного производства. *Системные технологии*, 2 (35), 13-18.
- Мелихова, О. А. (2015). Нейронные сети как составная часть систем искусственного интеллекта. *Информатика, вычислительная техника и инженерное образование*, 1, 40-51.
- Муромцев, Д. Ю., Грибков, А. Н., Шамкин, В. Н., & Тюрин, И. В. (2019). Моделирование динамических режимов многомерных объектов для построения эффективных алгоритмов оперативного синтеза оптимальных управляющих воздействий. *Системы управления и информационные технологии*, 1, 17-22.
- Насыбуллин, Р. Н., Ахмадиев, Ф. Г., & Бахарева, О. В. (2020). Кибер-физические системы: концепция цифрового двойника в инвестиционно-строительном комплексе. *Математические методы в технике и технологиях-ММТТ*, 7, 120-125.
- Павлов, І. Д., Полтавець, М. О., & Павлов, Ф. І. (2020). Системне управління організаційно-технологічною надійністю виробничих процесів в будівництві. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 17, 53-61.
- Радкевич, А. В., Арутюнян, І. А., & Сайков, Д. В. (2019а). Асиміляція теоретичних засад розрахунку будівельного заділу до методології оптимізаційних моделей організації будівельного вироб-

- ництва вітчизняних підприємств. *Програма та тези доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції «Ефективні технології в будівництві»*, 80-81.
- Радкевич, А. В., Арутюнян, І. А., & Сайков, Д. В. (2019b). Концептуалізація теоретико-методологічної парадигми розрахунку будівельного заділу в розрізі імплементаційних засад оптимізації організаційних процесів будівельного виробництва підрядних підприємств. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*, 1(39), 51-59.
- Радкевич, А. В., Арутюнян, І. А., & Сайков, Д. В. (2019c). Становлення сучасних регіональних будівельних ринків в умовах динамічних економічних перетворень. *Матеріали 79-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»*, 267-269.
- Радкевич, А. В., Арутюнян, І. А., Данкевич, Н. О., & Сайков, Д. В. (2017). Детермінація концептуальних підходів щодо облігаторності впровадження оптимізаційних моделей будівельного виробництва для вітчизняних підрядних підприємств. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 12, 78-86.
- Рижаків, Д. А., Пакова, Г. В., Хоменко, О. М., & Максим'юк, Ю. С. (2020). Сучасна технологія економічної діагностики в системі процесно-структурованого менеджменту будівельних організацій. *Формування ринкових відносин в Україні*, 1, 77-84.
- Сайков, Д. В. (2017). Оптимізація будівельного виробництва підрядних організацій на базі програмних модулів. *Програма та тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції «Перезавантаження будівництва: економіка, організація, менеджмент»*, 152-155.
- Сайков, Д. В., & Арутюнян, І. А. (2019). Впровадження оптимізаційних моделей як метод контролю та забезпечення показників організаційних процесів будівельного виробництва. *Матеріали круглого столу «Наукові та практичні підходи до проведення економічних, товарознавчих, будівельних експертиз»*, 60-64.
- Тугай, О. А., Чуприна, Ю. А., Чуприна, Х. М., Горбач, М. В., & Малихін, М. О. (2021). Аналіз існуючих варіантів організаційно-технологічної підготовки комплексного зосередженого будівництва. *The Scientific Heritage*, 61, 28-32.
- Чижанов, С. О. (2006). Эволюционное моделирование динамики систем производственных предприятий. *Аудит и финансовый анализ*, 3, 210-232.

D. V. SAIKOV*

*Department of Industrial and Civil Engineering, Engineering Educational and Scientific Institute named after Y. M. Potebnya of Zaporozhzhia National University, Sobornyi Avenue 226, Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. +38 (098) 544 80 81, e-mail vip.s.danil@gmail.com, ORCID 0000-0001-7616-0199

OPTIMISATION MODEL'S CONCEPTUAL FORMS FOR THE CONSTRUCTION PRODUCTION SYSTEM OF CONTRACTING COMPANIES ON THE EVOLUTIONARY COMPUTATION PLATFORM

Purpose. The study consists in development and implementation in the latest construction practice of scientific and methodological approaches to differentiation and planning of the construction organisational processes for contracting companies at the stage of initiating the project implementation with deterministic financing conditions. Identification of optimisation's conceptual foundations takes into account the current situation in the domestic market of construction services, the economic conditions of contracting companies. **Methodology.** The choice of theoretical and methodological tools for optimising the contractor's organisational processes is based on an analysis of the company's available material and technical resources, comparing them with the distribution value of construction works within the framework of the development and financing contractor's strategy, increasing its competitiveness. The methodology for modeling the system of organisational processes is created on the platform of the construction works' evolutionary strategy, that is, on the basis of optimal trajectories' set for regulating processes, evolutionary strategies are created taking into account the standard operators of evolutionary computation. **Results.** Using of the operator of randomly determined exchange (crossing), corresponding to the inheritance's natural process, shows the transfer of properties to new evolutionary strategies (descendants). After the crossing stage's end, operators of random change in evolutionary strategies (mutations) are executed. The above operators are used repeatedly, which in turn leads to a gradual change in the original population. The generation process lasts until a deterministic level of

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

convergence is reached, i.e. the resulting population reaches a given fitness-function (objective function of task optimisation). If the stopping criterion is the population's quality, the speed of the method is estimated by the time it takes to reach this property. **Originality.** Genetic algorithms show significant implementation characteristics of solving problems of the organisational processes optimising for construction, in particular calendar and business planning. The methodological foundations of evolutionary computation, including the use of computers, greatly simplify operational tasks and contribute to obtaining the desired result. **Practical value.** Population structuring makes it possible to increase the efficiency of the search algorithm for optimal management of organisational processes. Evolutionary computation gains legitimacy in the interactive construction production regulating of contracting companies. Their use is justified especially in those cases when the exact optimum is not required in the management of construction processes – any value that is better than the directive or standard value can be considered a solution.

Keywords: contracting company; organisational process; optimisation model; evolutionary computation; genetic algorithms

REFERENCES

- Arutiunian, I., Dankevych, D., Arutiunian, Y., Saikov, D., & Poltavets, M. (2020). Innovative models of choice and substantiation of adoption of optimal organizational-technological decisions of construction production. *Journal of Critical Reviews*, 7(14), 506-508. (in English)
- Arutiunian, I., Dankevych, N., & Saikov, D. (2021). Efficiency evaluation of organisational processes system in a building production with simulation modeling for contracting companies. *Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice*, 19, 99-107. (in English)
- Claveria, O., Monte, E., & Torra, S. (2019). Evolutionary computation for macroeconomic forecasting. *Computational Economics*, 53(2), 833-849. (in English)
- Doerr, B., & Neumann, F. (Eds.). (2019). *Theory of evolutionary computation: Recent developments in discrete optimization*. Springer Nature Switzerland AG. (in English)
- Kyriklidis, C., & Dounias, G. (2016). Evolutionary computation for resource leveling optimization in project management. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 23(2), 173-184. (in English)
- Wilson, D., Rodrigues, S., Segura, C., Loshchilov, I., Hutter, F., Buenfil, G. L., & Cussat-Blanc, S. (2018). Evolutionary computation for wind farm layout optimization. *Renewable energy*, 126, 681-691. (in English)
- Altukhova, D. V. (2017). Matematychna model rozrakhunku tryvalosti budivnytstva. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, 69, 140-147. (in Ukrainian)
- Bondar, O. A., Medianyuk, V. Yu., Pokolenko, V. O., Bushuieva, N. S., & Mudra, M. S. (2021). Metodolohiia formuvannia operatsiinoi systemy developera v budivnytstvi. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 1(47), 64-78. (in Ukrainian)
- Buhanovskij, A. V., & Nechaev, Y. I. (2011). Evolyutsionnoe modelirovanie zadach mnogokriterialnoj optimizatsii v sisteme issledovatel'skogo proektirovaniia morskikh sudov. *Iskusstvennyj intellekt*, 3, 42-54. (in Russian)
- Kasatkina, E. V., & Vavilova, D. D. (2020). Matematicheskaia model optimalnogo razvitiia ekonomiki predpriiatiia. *Statistika i ekonomika*, 2, 72-81. (in Russian)
- Kurchenko, N. S. (2018). Vybore organizatsionno-tehnologicheskikh reshenij dlia obiektov stroitelstva s uchedom sluchajnykh faktorov. *Sistemnye tekhnologii*, 2(27), 64-68. (in Russian)
- Kurchenko, N. S., & Aleksejsev, A. V. (2017). Evolyutsionnaia model poiska ratsionalnogo raspredeleniia resursov pri ogranichenii prodolzhitel'nosti stroitelstva. *Nauka i biznes: puti razvitiia*, 4, 19-23. (in Russian)
- Kurchenko, N. S., & Aleksejsev, A. V. (2020). Otsenka organizatsionnoj nadezhnosti kalendarnogo modelirovaniia stroitel'nogo proizvodstva. *Sistemnye tekhnologii*, 2 (35), 13-18. (in Russian)
- Melikhova, O. A. (2015). Nejronnye seti kak sostavnaia chast sistem iskusstvennogo intellekta. *Informatika, vychislitel'naia tekhnika i inzhenernoe obrazovanie*, 1, 40-51. (in Russian)
- Muromtsev, D. Y., Gribkov, A. N., Shamkin, V. N., & Tyurin, I. V. (2019). Modelirovanie dinamicheskikh rezhimov mnogomernykh obiektov dlia postroeniia effektivnykh algoritmov operativnogo sinteza optimalnykh upravliayushchikh vozdeystvij. *Sistemy upravleniia i informatsionnye tekhnologii*, 1, 17-22. (in Russian)
- Nasybullin, R. N., Akhmadiev, F. G., & Bakhareva, O. V. (2020). Kiber-fizicheskie sistemy: kontseptsiiia tsifrovogo dvojnika v investitsionno-stroitel'nom komplekse. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiiakh-MMTT*, 7, 120-125. (in Russian)
- Pavlov, I. D., Poltavets, M. O., & Pavlov, F. I. (2020). Systemne upravlinnia orhanizatsiino-tehnolohichnoiu nadiinistiu vyrobnychkykh protsesiv v budivnytstvi. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 17, 53-61. (in Ukrainian)

- Radkevych, A. V., Arutiunian, I. A., & Saikov, D. V. (2019a). Asymiliatsiia teoretychnykh zasad rozrakhunku budivelnogo zadilu do metodolohii optymizatsiinykh modelei orhanizatsii budivelnogo vyrobnytstva vitchyznianskykh pidpriemstv. *Prohrama ta tezy dopovidei IV Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Efektyvni tekhnolohii v budivnytstvi»*, 80-81. (in Ukrainian)
- Radkevych, A. V., Arutiunian, I. A., & Saikov, D. V. (2019b). Kontseptualizatsiia teoretyko-metodolohichnoi paradyhmy rozrakhunku budivelnogo zadilu v rozrizi implementatsiinykh zasad optymizatsii orhanizatsiinykh protsesiv budivelnogo vyrobnytstva pidriadnykh pidpriemstv. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 1(39), 51-59. (in Ukrainian)
- Radkevych, A. V., Arutiunian, I. A., & Saikov, D. V. (2019c). Stanovlennia suchasnykh rehionalnykh budivelnnykh rynkiv v umovakh dynamichnykh ekonomichnykh peretvoren. *Materialy 79-oi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Problemy ta perspektyvy rozvytku zaliznychnoho transportu»*, 267-269. (in Ukrainian)
- Radkevych, A. V., Arutiunian, I. A., Dankevych, N. O., & Saikov, D. V. (2017). Determinatsiia kontseptualnykh pidkhodiv shchodo oblihatornosti vprovadzhennia optymizatsiinykh modelei budivelnogo vyrobnytstva dlia vitchyznianskykh pidriadnykh pidpriemstv. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 12, 78-86. (in Ukrainian)
- Ryzhakov, D. A., Pakova, H. V., Khomenko, O. M., & Maksymiuk, Yu. S. (2020). Suchasna tekhnolohiia ekonomichnoi diahnostyky v systemi protsesno-strukturovanoho menedzhmentu budivelnnykh orhanizatsii. *Formuvannia rynkovykh vidnosyn v Ukraini*, 1, 77-84. (in Ukrainian)
- Saikov, D. V. (2017). Optymizatsiia budivelnogo vyrobnytstva pidriadnykh orhanizatsii na bazi prohramnykh moduliv. *Prohrama ta tezy dopovidei III Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Perezavantazhennia budivnytstva: ekonomika, orhanizatsiia, menedzhment»*, 152-155. (in Ukrainian)
- Saikov, D. V., & Arutiunian, I. A. (2019). Vprovadzhennia optymizatsiinykh modelei yak metod kontrolinhu ta zabezpechennia pokaznykiv orhanizatsiinykh protsesiv budivelnogo vyrobnytstva. *Materialy kruhloho stolu «Naukovi ta praktychni pidkhody do provedennia ekonomichnykh, tovaroznavchykh, budivelnnykh ekspertyz»*, 60-64. (in Ukrainian)
- Tuhai, O. A., Chupryna, Yu. A., Chupryna, Kh. M., Horbach, M. V., & Malykhin, M. O. (2021). Analiz isnuuichykh variantiv orhanizatsiinoi-tekhnologichnoi pidgotovky kompleksnoho zoseredzhenoho budivnytstva. *The Scientific Heritage*, 61, 28-32. (in Ukrainian)
- Chizhanov, S. O. (2006). Evolyutsionnoe modelirovanie dinamiki sistem proizvodstvennykh predpriiatij. *Audit i finansovyy analiz*, 3, 210-232. (in Russian)

Надійшла до редколегії 15.03.2022.

Прийнята до друку 11.04.2022.