

УДК 004.91

В.Б. Задоров, В.Т. Шпирний, Є.Є. Шабала

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

## ВИКОРИСТАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ НОРМАТИВІВ ВИТРАТ РЕСУРСІВ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

*Запропоновано підхід до ефективного розрахунку нормативів витрат ресурсів на будівельні процеси рівня кошторисного виміру за допомогою імітаційного моделювання. В якості математичного апарату для моделювання динамічних дискретних систем пропонується використовувати мережі Петрі.*

**Ключові слова:** кошторисні нормативи, уточнення ресурсних нормативів будівельних процесів, імітаційне моделювання будівельних процесів, мережі Петрі, візуальне моделювання, метод Монте-Карло

*Рассматривается подход к эффективному расчету нормативов затрат ресурсов на строительные процессы уровня сметного измерения с помощью имитационного моделирования.*

**Ключевые слова:** сметные нормативы, уточнения ресурсных нормативов строительных процессов, имитационное моделирование строительных процессов, сети Петри, визуальное моделирование, метод Монте-Карло

*The approach to the efficient calculation of standard costs of resources for construction processes of the estimated level measurements using simulation.*

**Keywords:** estimated norms, clarify resource standards of construction processes, simulation of the construction processes, Petri nets, visual simulation, Monte-Carlo method

### Постановка проблеми

Ефективність подальшого вдосконалення управління будівництвом значною мірою залежить від того, наскільки якісно розроблена база ресурсних нормативів для будівельних процесів.

Якість ресурсних нормативів для будівництва залежить:

– по-перше, від того, наскільки відповідають сучасним вимогам будівельного виробництва первинні одиниці, відомчі та місцеві виробничі норми витрат ресурсів на рівні елементарних процесів і операцій (ЕПіОП), що розробляються методами технічного нормування;

– по-друге, від того, наскільки наявні методи їх перетворення в укрупнені виробничі або кошторисні нормативи і показники витрат ресурсів різних рівнів враховують конкретні умови виробництва, варіантність конструктивних, об'ємно-планувальних, а також технологічних і організаційних рішень;

– по-третє, від того, наскільки своєчасно нормативна база актуалізується, тобто

виключаються застарілі норми, нормативи, показники, розробляються нові, перераховуються наявні з урахуванням сучасних методів технології та організації будівництва [3].

Стара нормативна база, створена для функціонування будівельної галузі в системі планової економіки, малоприсаєдана для ринкової і не тільки гальмує будівництво, а й збільшує число помилок, що призводить до небажаних результатів.

Запропонований підхід передбачає організацію і проведення обчислювальних експериментів на імітаційній моделі для порівняння і оцінки наявних нормативів витрат ресурсів у будівництві.

Імітаційне моделювання дає змогу підвищити рівень автоматизації підготовки виробництва, розробляти нормативи витрат ресурсів для типових та індивідуальних проектів. Великий обсяг робіт для уточнення наявних нормативів витрат ресурсів неможливо здійснювати без застосування комп'ютерного моделювання.

Специфіка систем моделювання визначається технологією роботи, набором мовних засобів, сервісних програм і прийомів моделювання.

Імітаційне моделювання контролюваного процесу або керованого об'єкта – це високорівнева інформаційна технологія, яка забезпечує роботу зі створення або модифікації імітаційної моделі, а також експлуатацію імітаційної моделі та інтерпретацію результатів. Імітаційне моделювання дозволяє створювати моделі будівельних процесів, що спрощує створення ресурсної нормативної бази. Процеси кошторисного рівня складаються із елементарних процесів, для яких можна розрахувати нормоутворюючі фактори набагато конкретніше.

### Аналіз основних технологій, досліджень і публікацій

З розвитком цифрових обчислювальних засобів центр уваги переноситься на цифрове моделювання, за допомогою якого можна реалізувати ведення та актуалізацію ресурсних нормативів будівельних процесів на базі аналітико-імітаційних моделей.

Одним із поширених програмних продуктів є система візуального імітаційного моделювання «Ithink» [8]. У таких системах формальна модель спочатку представляється у вигляді логічних діаграм, що відображають причинно-наслідкові зв'язки, які потім перетворюються в мережеву модель, зображену графічними засобами системи «Ithink». Потім ця мережева модель автоматично перетворюється в її математичний аналог – систему рівнянь, яка розв'язується чисельними методами, вбудованими в систему «Ithink». Отримане рішення представляється у вигляді графіків і таблиць, які піддаються критичному аналізу. В результаті модель переглядається (змінюються параметри деяких вузлів мережі, додаються нові вузли, встановлюються нові або змінюються вже наявні зв'язки і т. д.), потім модель знову аналізується і так доти, поки вона не стане в достатній мірі відповідати реальній ситуації. Після того, як модель побудована, в ній виділяються керовані параметри і

вибираються такі значення цих параметрів, за яких проблема або знімається, або перестає бути критично важливою.

Апарат пакета програми дозволяє генерувати потоки випадкових подій, що підкоряються нормальному розподілу або розподілу Пуассона, параметри яких задаються оператором.

Пакет ITHINK надає можливість скористатися методом Монте-Карло. Метод Монте-Карло незамінний для вирішення багатьох завдань управління та техніко-економічного проектування. Зокрема, він дозволяє оцінювати інтегральні наслідки багатьох випадкових впливів. Особлива група можливостей пакета ITHINK пов'язана з концепцією часового циклу, реалізованої в ньому. Завдяки часовому маркуванню елементів або "часток" потоків з'являється можливість простежити їх індивідуальну траєкторію і витрати часу в різних вузлах і ділянках моделі. На виході таких моделей – оптимізація самого важливого з факторів виробництва – витрат часу. Але ця система не підходить для моделювання будівельних процесів через незручності їх зображення засобами цього пакету.

Другим програмним продуктом є AnyLogic – єдиний інструмент імітаційного моделювання, який підтримує всі підходи до створення імітаційних моделей: провесно-орієнтований (дискретно-подієвий), системно-динамічний і агентний, а також будь-яку їхню комбінацію. Унікальність, гнучкість і потужність мови моделювання, що надається AnyLogic, дозволяє врахувати будь-який аспект системи, яка підлягає моделюванню з будь-яким рівнем деталізації. Графічний інтерфейс AnyLogic, інструменти та бібліотеки дають змогу швидко створювати моделі для широкого спектру завдань, в тому числі і для будівництва.

Технологічні характеристики сучасних систем моделювання наведені в таблиці.

Таблиця

Технологічні характеристики сучасних систем моделювання

Система моделювання	Виробник програмного забезпечення	Додатки	Середовище моделювання та підтримки			
			Графічна інструкція	Авторське моделювання, програмування моделей	Анімація (в реальному часі)	Підтримка аналізу результату
ARENA	System Modeling Corporation	Виробництво, аналіз бізнес-процесів, дискретне моделювання	Блок-схеми	+	+	+
EXTEND	Imagine That, Inc	Стратегічне планування, бізнес-моделювання	Компонувальні блоки, неперервні та дискретні моделі	+ мова Modl	+	Аналіз на чутливість

GPSS/H-PROOF	Wolverine Software Corporation	Загального призначення виробництво, транспорт та ін.	Блок-схеми	+	+	ANOVA
ITHINK ANALYST	High Performance System, Inc	Управління фінансовими потоками, реінжиніринг підприємств, банків, інвестиційних компаній та ін.	Case-засоби, потокові діаграми	+	+	Аналіз на чутливість
PROCESS MODEL	PROMODEL Corporation	Загальне виробництво, реінжиніринг	Блок-схеми, дискретне моделювання	-	-	+
SIMUL8	Visual Thinking International	Універсальний засіб імітації дискретних процесів	-	Об'єктно-орієнтоване програмування	+	+
TAILOR SIMULATION SOFTWARE	F&H Simulation Inc	Виробництво, вартісний аналіз	Блок-схеми, дискретне моделювання	-	+	+
WITNESS	Lanner Group Inc	Бізнес-планування, виробництво, фінанси	+	+	+	+ Блок-оптимізації
VENSIM	Ventana Systems	Моделі системної динаміки	Потокові діаграми	-	+	+
POWERSIM	Powersim Co	Неперервне моделювання	Потокові діаграми	-	+	-
DYNAMO	Expectation Software	Моделі системної динаміки обчислювального типу	Блок-схеми	-	-	-

Проблемам розвитку кошторисно-нормативної бази присвятили свої дослідження вітчизняні вчені та фахівці, що займаються ціноутворенням в будівництві: І.О. Уварова, А.С. Овсянніков, М.А.Журавльова, Є.В. Новак та ін.

Наприклад, на думку І.О. Уварової, удосконалення нормативної бази планування ресурсів для технічного прогресу включає обґрунтування методів розробки норм і нормативів, реалізацію системного підходу до формування нормативної бази, розробку моделей норм і нормативів на основі багатofакторного аналізу [4]. Але цей аналіз потребує дуже великого обсягу статистичних даних про перебіг будівельних процесів.

А.С. Овсянніков вважає, що перехід будівельного комплексу на нову базу ціноутворення і кошторисного нормування в умовах ринкових відносин та поступового відходу від жорсткого адміністративно-господарського державного регулювання передбачає створення нових моделей формування кошторисно-нормативної бази на будівельні, монтажні та ремонтно-будівельні роботи [5]. Відмінність у формуванні нової кошторисно-нормативної бази від попередніх полягає у такому:

- рекомендаційному характері кошторисно-нормативної бази;
- перенесенні основної роботи з формування вартісних показників з федерального рівня на галузеві, регіональні та фірмові рівні ціноутворення і кошторисного нормування;

- створенні і використанні в роботі регіональних, галузевих і фірмових рівнів цін;

- формуванні кошторисно-нормативної бази на основі реєстрації вартості вживаних в будівництві ресурсів, що склалися в галузі або регіоні [7].

Саме на це і спрямоване використання імітаційного моделювання будівельних процесів.

М.А. Журавльова, вивчаючи удосконалення механізму формування договірних цін в будівництві, відмічає, що перехід будівельної галузі на ринкові засади господарювання спричинив процес розробки і впровадження нової кошторисної нормативної бази. Необхідність розробки нової бази виникла в силу того, що ціни на будівельну продукцію повинні забезпечувати раціональне використання ресурсів, підвищення рентабельності будівельного виробництва. При цьому ціна на будівельну продукцію повинна утворюватися на основі вільних договірних цін, що формуються на базі кошторисної документації, розробленої з використанням поточних ринкових цін на ресурси. При розрахунку ціни об'єкта будівництва мають враховуватися також його індивідуальні особливості [6].

Є.В. Новак також акцентує увагу на дефіциті якісної нормативно-довідкової інформації, недостатнє використання того інформаційного забезпечення, яке вже існує в окремих функціях фінансового менеджменту в будівництві. Будівництву, як сфері діяльності, дісталася велика база нормативно-довідкової інформації,

насамперед в частині кошторисного нормування і ціноутворення. Проте, зважаючи на стрімке старіння нормативних документів, приділяється недостатньо уваги до системи нормоутворення, її дані мало використовуються і недостатньо вдосконалюються. Є.В. Новак вважає важливим і своєчасним уніфікацію нормативно-довідкової інформації для ряду процесів управління в будівництві, вдосконалення і створення галузевих кодифікаторів і класифікаторів [7]. Реалізація підходів вищезгаданих авторів потребує уточнених ресурсних нормативів.

Отже, актуальною проблемою є, по-перше, розробка ресурсної нормативної бази, яка б відповідала сучасним вимогам будівельної галузі; по-друге, використання імітаційного моделювання будівельних процесів, оскільки розробка імітаційних моделей не потребує великих витрат коштів і часу на формування нових нормативів і уточнення існуючих, тобто в порівнянні з технічним нормуванням методом хронометражу є більш ефективним. Процес імітаційного моделювання будівельних процесів значно простіший, швидший та зручніший, ніж проведення технічного нормування і використання математичних моделей. Також є можливість охопити більшу кількість різних варіантів об'єктів будівництва.

### Формулювання мети статті

Структура нормативної бази в будівництві, яка використовується в багатьох сучасних інформаційних технологіях, створювалася ще в минулому столітті. За цей час оновилися техніка і технологія будівельного виробництва, види і якість багатьох будівельних матеріалів. В умовах переходу до ринкових відносин здійснювалась деяка адаптація старої адміністративної системи нормативної бази будівництва з метою врахування нових вимог. Але багато в чому збереглася концепція усереднених нормативів витрат ресурсів, що використовуються під час вирішення різних завдань в системі підготовки будівництва і навіть в оперативному управлінні будівельним виробництвом.

Для уточнення кошторисних нормативів, а також показників кошторисної вартості конструктивних рішень, виникає необхідність використання імітаційного моделювання нормативів, що дозволить визначати вартість будівництва об'єктів на стадіях проектування і планування.

### Виклад основного матеріалу

Ситуація, яка склалася на сьогодні в автоматизації будівельних процесів вимагає підвищення ефективності інформаційних технологій, що забезпечують вирішення складних багатофакторних задач підготовки та управління будівництвом на основі гнучкої інтелектуальної

інформаційної системи формування, ведення та актуалізації ресурсної нормативної бази в будівництві, що оперативно реагує на різноманітні ситуації в будівельній галузі.

Важливим інструментом у будівельній галузі є нормативи, які виконують роль обґрунтованого вимірювача майбутніх витрат і результатів виробничо-господарської діяльності суб'єктів. Під нормативами в будівництві розуміється узагальнена назва комплексу кошторисних норм, розцінок і цін, що об'єднуються в окремі збірники. Разом з правилами і положеннями, що містять в собі необхідні вимоги, вони служать для визначення кошторисної вартості будівництва і реконструкції будівель та споруд, розширення та технічного переоснащення підприємств усіх галузей господарства та промисловості.

Імітаційне моделювання є потужним інструментом дослідження поведінки реальних систем. Методи імітаційного моделювання дозволяють зібрати необхідну інформацію про поведінку системи шляхом створення її комп'ютерної моделі. Ця інформація використовується потім для проєктування системи.

Процес моделювання можна представити такими етапами:

1. Аналіз вимог, проєктування
  - 1.1. Постановка та аналіз задачі, цілі моделювання
  - 1.2. Збирання та аналіз вхідної інформації про об'єкт
  - 1.3. Побудова концептуальної моделі
  - 1.4. Перевірка достовірності концептуальної моделі
2. Розробка моделі
  - 2.1. Вибір мереж Петрі як основного інструмента моделювання будівельних процесів
  - 2.2. Створення логічної моделі
  - 2.3. Верифікація моделі
3. Проведення експерименту
  - 3.1. Багаторазовий запуск та прогін моделі при варіюванні параметрів моделі та збирання отриманих даних
  - 3.2. Попередній аналіз результатів прогону моделі
  - 3.3. Аналіз результатів моделювання
4. Формування звітної інформації про отримані результати.

Враховуючи, що у нас об'єкт умовний, то немає можливості здійснити всі етапи моделювання, тому в п.1.1. було виконана перевірка можливості уточнення РЕКН.

У п.1.2, 1.3, 1.4 був здійснений опис спрощеного об'єкта, робіт на цьому об'єкті, їх обсяги, норм витрат ресурсів на елементарні процеси.

У п.2 було розроблено детальний опис процесу будівництва умовного об'єкта мовою мереж Петрі.

Проведення експерименту зводиться до багаторазового прогону моделі.

Ми обрали мережі Петрі як одну із достатньо зручних, адекватних і доступних маловитратних систем імітаційного моделювання динамічних систем.

Мережі Петрі – математична структура, яка надається четвіркою:

$$СП = \langle P, T, I, Q \rangle, \quad (1)$$

$I$  - множина позицій мережі  $P = \{P_1 \dots P_n\}$ ;

$T = \{t_1, t_2 \dots t_m\}$  – множина переходів в мережі, в яких задаються такі функції:

1. Функції  $I(t_j)$  представлені:

$$I = \{I(t_1), I(t_2) \dots I(t_n)\} \text{ входів-переходів};$$

2.  $Q(t_j)$  - функції виходів-переходів.

$$Q = \{Q(t_1), I(t_2) \dots Q(t_n)\}.$$

Ці функції представляються як деякі вектори, які відображають конфігурацію системи та визначаються на всіх позиціях мережі.

Вектор відображає всі позиції мережі на входи реакцій  $P_{ij}$  - як відображення всіх позицій мережі на виходи  $t_j$  переходів.

Формальний апарат мереж Петрі призначений для моделювання систем різного роду і відображення стану досліджуваної системи станом мережі. Стан мережі Петрі визначається її маркуванням. Кількість і розподіл фішок мережі визначають динаміку досліджуваної системи. Мережа Петрі виконується за допомогою запуску переходів в результаті видалення фішок з його вхідних позицій і додавання їх у вихідні позиції переходу. Послідовність спрацьовувань переходів повністю визначає поведінку мережі. Таким чином, мережа Петрі описує структуру системи, її стан і поведінку.

Об'єкти моделювання мереж Петрі найчастіше представляються точками (фішками) в тій чи іншій позиції мережі, хоча можуть використовуватися спеціальні елементи [2]. Потоки ресурсів представляються фішками, які рухаються по ребрах із вхідних позицій у вихідні через переходи. А процеси представляються, як правило, кількома позиціями і переходами, з'єднаними між собою ребрами, по яких переміщуються фішки.

При застосуванні мереж Петрі для моделювання будівельних процесів визначаються такі типи фішок:

- із назвами об'єктів будівництва (котлован, фундамент, стіна, перекриття);
- із назвами машин і механізмів (екскаватор, бето-нонасос, автогрейдер, самоскид, каток);
- із назвами виконавців (каменяр, будівельник, штукатур, маляр).

В якості позицій можуть бути використані назви робіт (копання, бетонування, зведення стін, монтаж перекриття).

Поведінка Мережі Петрі описується початковим станом, зміною станів та кінцевим станом. Стан мережі Петрі – це розміщення фішок по позиціях.

Для проведення експериментального прикладу необхідно визначити список будівельних робіт, позицій, переходів, фішок для створення моделі процесів будівництва на умовному об'єкті та визначення на ньому кількості витрат ресурсів.

Вхідні дані описуються як конкретні значення змінних параметрів.

Умовні позначення на фрагменті мережі Петрі як моделі процесів будівництва на умовному об'єкті:

Позиції:

- План – містить список запланованих робіт;
- Факт – містить список виконаних робіт;
- Техніка - список наявного парку машин;
- Матеріали – кількість матеріалів на складі;
- Копання – процес копання котловану;
- Бетонування - процес бетонування

фундаменту.

Переходи:

- ПочКоп – початок копання котловану;
- КінКоп – кінець копання котловану;
- Почбет – початок бетонування;
- КінБет – кінець бетонування.

Типи фішок:

- Котл – котлован (запланований або готовий);
- Фунд - фундамент (запланований або

готовий);

- Екс – екскаватор;
- Самоск – самоскид;
- Бет – бетон;
- Бетононас – бетононасос.

$N$  – об'єм будівельних робіт, виробіток техніки чи робітника за зміну.

$$N_{\text{коп}}=500$$

$$N_{\text{бет}}=200$$

$$N_{\text{стін}}=300$$

$$N_{\text{перекр}}=200$$

$$N_{\text{нас}}=10$$

$$N_{\text{екс}}=20$$

$$N_{\text{каменяр}}=10$$

$$N_{\text{будівельник}}=12$$

$$N_{\text{термомайстер}}=10$$

$$N_{\text{віконмайстер}}=10$$

$$N_{\text{термо}}=200$$

$$N_{\text{вікно}}=200$$

Фрагмент мережі Петрі, яка моделює будівельні процеси на умовному об'єкті, показано на рис. 1.

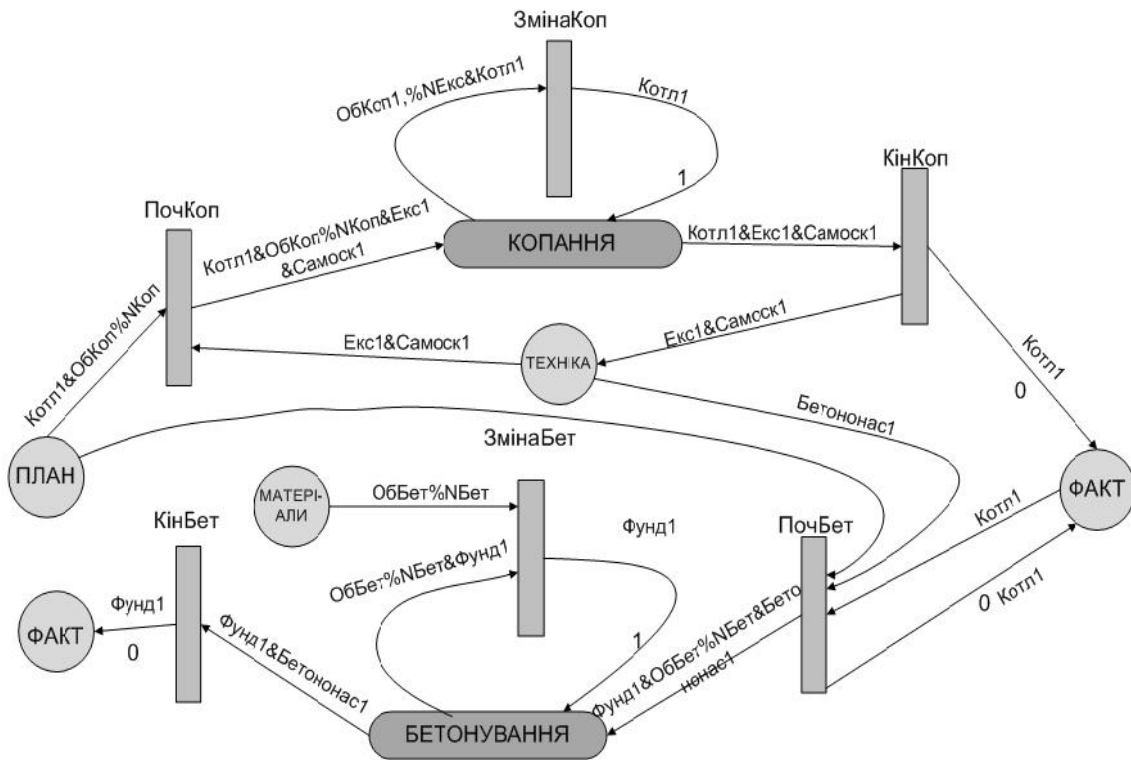


Рис. 1. Фрагмент мережі Петрі як модель процесів будівництва на умовному об'єкті

Переміщення фішки із позиції «ПЛАН» у позицію «ФАКТ» означає факт виконання відповідної будівельної роботи. Тобто, в позиції «ПЛАН» знаходиться запланована робота, але ще невиконана, а у позиції «ФАКТ» робота знаходиться в тому випадку, коли вже є виконаною. Кінцевий стан цієї мережі Петрі відображує витрати ресурсів на виконаних роботах.

В результаті прогону моделі ми отримуємо таблицю результатів експериментального покрокового прогону моделі процесу виконання будівельних робіт (рис. 2).

Модель Model21						
Крок	Об'єм коп.	Об'єм бет.	Об'єм засипки	Об'єм збитку переш.	Об'єм термобол епл.	Об'єм монтаж. шпильовань.
1	40	-	-	-	-	-
2	80	-	-	-	-	-
3	120	-	-	-	-	-
4	160	-	-	-	-	-
5	200	-	-	-	-	-
6	240	-	-	-	-	-
7	280	-	-	-	-	-
8	320	-	-	-	-	-
9	360	-	-	-	-	-
10	400	-	-	-	-	-
11	440	-	-	-	-	-
12	480	-	-	-	-	-
13	500	-	-	-	-	-
14	500	30	-	-	-	-
15	500	60	-	-	-	-
16	500	90	-	-	-	-
17	500	120	-	-	-	-
18	500	150	-	-	-	-
19	500	180	-	-	-	-
20	500	200	-	-	-	-
21	500	200	20	20	20	20
22	500	200	40	48	48	48
23	500	200	60	72	72	72
24	500	200	80	96	96	96
25	500	200	100	120	120	120
26	500	200	120	144	144	144
27	500	200	140	168	168	168
28	500	200	160	192	192	192
29	500	200	180	192	192	192
30	500	200	200	192	192	192

Рис. 2. Результати експериментального покрокового прогону моделі процесу виконання будівельних робіт

Серед переваг апарату мереж Петрі можна вказати такі:

- дає змогу моделювати асинхронність і недетермінізм паралельних незалежних подій (в мережі Петрі можуть одночасно і незалежно один від одного спрацювати кілька переходів), конфліктні взаємодії між процесами;
- дає змогу використовувати єдині методологічні позиції для опису програмного забезпечення, апаратних засобів та інформаційного обміну між системами [1].

### Висновки

З викладеного матеріалу можна зробити висновок, що на сьогодні немає такої технології, яка б дозволила достатньо точно і недорого розробляти ресурсні нормативи. Запропонований підхід дає змогу вирішити цю проблему. Час на формування моделі мережі Петрі значно менший, ніж розробка програми, описаної традиційною мовою програмування, яка роз'ясує ту ж саму задачу. В даному експерименті для створення моделі процесів будівництва на умовному об'єкті, використовувався інтерпретатор моделей, а текст моделі створювався вручну. Результати попереднього експерименту показали, що апарат мереж Петрі дозволяє достатньо адекватно і швидко моделювати ЕПООП і тим самим уточнювати РЕКН.

Можна прогнозувати, що цей підхід є універсальним для моделювання будівельних процесів, оскільки мережі Петрі дозволяють адекватно формувати представлення паралельних взаємодіючих процесів.

У подальшому планується розробка проекту ІТ з врахуванням отриманих результатів експерименту.

## Список літератури

1. Замятина О. М.: Компьютерное моделирование: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 121 с.
2. Методическое пособие "Компьютерное моделирование" [Электронный ресурс], [http://www.werr.ru/komp\\_modelirovanie.php?t=6](http://www.werr.ru/komp_modelirovanie.php?t=6)
3. Методические рекомендации по автоматизированному формированию производственных нормативных показателей расхода ресурсов (Комплекс задач «НОРМАТИВ»). – К.: НИИАСС, 1980.
4. Уварова И.А. Совершенствование планирования технического прогресса на основе развития нормативной базы расчета потребности в ресурсах: Научная библиотека диссертаций и авторефератов: – М., 1984. – 182с.
5. Овсянников А. С. Развитие методов формирования стоимостной части сметно-нормативной базы на региональном уровне: Научная библиотека диссертаций и авторефератов: – Воронеж, 2000. – 160с.
6. Журавлева М. А. Совершенствование механизма формирования договорных цен в строительстве: Научная библиотека диссертаций и авторефератов: – Екатеринбург, 2006. – 235с.
7. Новак Е.В. Интеграция сметного ценообразования и бюджетирования в строительстве: Научная библиотека диссертаций и авторефератов: – М., 2011. – 199с.
8. Системы моделирования [Электронный ресурс], URL: <http://www.radiomaster.ru/articles/view/263/>

Стаття надійшла до редколегії 25.03.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ю.М. Тесля, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.