

**П.Є. Григоровський**, д.т.н., с.н.с., тимчасово виконуючий обов'язки директора ДП "НДІБВ", м. Київ, Orcid 0000-0003-0527-5890;

**О.В. Горда**, к.т.н, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики. Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Orcid 0000-0001-7380-0533;

**Ю.В. Крошка**, завідувачка відділу інструментального контролю будівельно-монтажних робіт ДП "НДІБВ", м. Київ, Orcid 0000-0001-6110-8443

## РОЗРОБКА БУДІВЕЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ КОМПЛЕКСНОГО ПРОЦЕСУ ВИМІРЮВАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ ЗВЕДЕННІ МОНОЛІТНО-КАРКАСНИХ БУДІВЕЛЬ

**Анотація.** *Вимірювальні роботи являються невід'ємною частиною технологічних процесів будівельного виробництва, їх слід пов'язувати з строками виконання загально-будівельних, монтажних, спеціальних та інших робіт. Вимірювальні роботи протягом життєвого циклу в найбільшому ступеню впливають на тривалість будівельного етапу, оскільки при зменшенні (збільшенні) тривалості самих вимірювань можливо вплинути на тривалість і послідовність основних робіт технологічних процесів при зведенні будівлі. Із стрімким розвитком інформаційних технологій наукові розробки з формування організаційно-технологічних рішень інструментальних вимірювань в будівництві активізувалися.*

*У статті наведено спробу розробки будівельної інформаційної моделі вимірювальних робіт при зведенні наземної частини монолітно-каркасних будівель. Використання методів інформаційного моделювання для отримання інформації про геометричні параметри конструкцій монолітно-каркасних будівель дозволить оптимізувати процес зведення будівель з врахуванням отриманих та реально виміряних відхилень їх розмірів в умовах реального часу. Включення результатів вимірювальних робіт до будівельної інформаційної моделі (ВІМ) об'єкта будівництва робить дослідження актуальним.*

**Ключові слова:** *вимірювальні роботи; будівельні інформаційні моделі; функція, відхилення розмірів; елемент; каркас; будівельних процес.*

**Вступ.** У зв'язку із стрімким розвитком інформаційних технологій наукові розробки з формування організаційно-технологічних рішень інструментальних вимірювань в будівництві активізуються. На цей час достатньо досліджені технічні, технологічні, організаційні, економічні аспекти зведення будівель і споруд; ґрунтовно відпрацьовані теоретичні та практичні аспекти раціонального використання методів вимірювань з контролю якості, постійно удосконалюються методологічні рішення забезпечення точності вимірювальних робіт, не припиняються дослідження у галузі вишукувальних робіт та удосконалення приладів.

В той же час оптимізація організаційно-технологічних рішень щодо оптимізації та обґрунтування ефективності технології вимірювальних робіт у складі будівельних процесів виконана недостатньо. Це стосується питань: досліджень з визначення параметрів технологічних процесів зведення будівель з врахуванням вимірювань на етапах організаційно-технологічного та архітектурно-конструктивного проектування як цілісної системи; розробки та обґрунтування системного підходу до технології вимірювань параметрів будівельних об'єктів, технологічного обладнання і оснастки для різних умов будівництва; прогнозування технологічних параметрів з використанням об'єктивної інформації, що отримується з вимірювань на етапі будівництва тощо.

Вимірювальні роботи виконують протягом всього життєвого циклу будівлі, вони впливають на тех-

ніко-економічні показники всіх його етапів. Серед вимірювальних робіт, геодезичні роботи [3] є найбільш показовими для аргументації та досліджень впливу організаційно-технологічних рішень на ефективність комплексного будівельного процесу зведення монолітно-каркасних будівель, оскільки лежать на критичному шляху у складі комплексного будівельного процесу.

Припускається що через розроблення та впровадження оптимальних організаційно-технологічних рішень, що враховують взаємозв'язок та взаємовплив основних та вимірювальних робіт на монтажному горизонті можливо досягти скорочення тривалості етапу будівництва об'єктів. Відсутнє методологічне забезпечення організаційно-технологічного проектування вимірювальних робіт у складі комплексного технологічного процесу зведення монолітно-каркасних будівель із застосуванням ефективних методів та технології вимірювань. Тому важливим для будівельної галузі України є створення та широке застосування новітніх високоефективних методів вимірювань у складі будівельного процесу, що сформовані на принципах інформаційного моделювання із застосуванням досягнень приладобудування, геодезії, метрології, організації та технології будівництва.

**Мета дослідження.** Розробити будівельну інформаційну модель комплексного технологічного процесу зведення монолітно-каркасної будівлі з врахуванням вимірювальних робіт визначення геометричних параметрів конструкцій будівлі.

**Виклад основного матеріалу.** Для забезпечення повноти інформаційної моделі [1, 2] об'єкта будівництва розробка інформаційних моделей процесу вимірювальних робіт при зведенні монолітно-каркасних будівель вимагає формулювання інформаційних завдань та послідовності їх вирішення.

Вихідні дані для моделювання комплексного процесу вимірювальних робіт при зведенні монолітно-каркасних будівель [4]:

$H(t, B)$  – технологія будівництва об'єкта  $B$ , що задається проектом.

$B(t)$  – зведений об'єкт в момент часу  $t$ , згідно із проектом.

$B(0) = \emptyset$  – до початку будівництва нічого немає.

$B(\infty) = B$  – вважаємо, що проект завжди буде завершений

$B(t_i) = B_i$  – об'єкт згідно з проектом у момент часу геометрично не змінювана структура.

$\{t_i\} \equiv T$  – моменти часу контролю стану об'єкта  $B(t)$ .

$StB(t)$  – структура об'єкта в момент часу  $t$ :

$$StB(t) = Vt(B) UGr(BUKr(B)), \quad (4.1)$$

Де –  $Vt(B(t))$  – множина вертикально орієнтованих елементів конструкції  $B(t)$ , наприклад, колони;  
–  $Gr(B(t))$  – множина горизонтально орієнтованих елементів конструкції  $B(t)$ , наприклад, перекриття;

–  $Kr(B(t))$  – множина елементів каркаса  $B(t)$ .

Тоді об'єкт  $B(t)$  можна представити як

$$B(t) = \bigcup_i \bigcup_j \bigcup_k el_{ijk}$$

– об'єднання елементів структури  $StB(t)$ , де  $i \in Vt(t), j \in Gr(t), k \in Kr(t)$ .

Функція  $St(B(t))$  – функція суміжності на  $B(t)$  ребер і граней.

Якщо представити  $Kr(B(t)) = Tp_{ijk}$ , де  $Tp_{ijk}$  – сукупність трикутників, отриманих у процесі триангуляції поверхні  $B(t)$ , що утворені реальними ребрами конструкції або двома реальними ребрами й одним уявним ребром, що з'єднують ребра по суміжності, то представлення монолітно-каркасного об'єкта в процесі будівництва в момент часу  $t$ :

$$(El(B(t)), B(t), Kr(t)), \quad (4.2)$$

де  $(El(B(t)))$  – безліч елементів  $StB(t)$ .

Представлення стану об'єкта в момент часу  $t$  формула (4.3)

$$[El(B(t), B(t), Kr(B(t)), Del(El(B(t))), Og(Kr(B(t))), Del(El(B(t))), Og(Kr(B(t))))]$$

$Del(El(B(t)))$  – проектно-допустимі інтервали відхилень розмірів і орієнтацій, елементів  $El(B(t))$ ;

$Og(Kr(B(t)))$  – проектні обмеження на інтервали відхилень розмірів, орієнтації й розміщення елементів каркаса  $Kr(B(t))$ ;

$Del(El(B(t)))$  – реально вимірювані відхилень розмірів і орієнтацій елементів  $El(B(t))$ ;

$Og(Kr(B(t)))$  – реально вимірювані відхилень розмірів, орієнтації і розміщення каркаса  $Kr(B(t))$ .

$$\{\Delta^1_{t_i}(B_i), \Delta^2_{t_i}(B_i)\}$$

– масив вимірів невідповідностей (відхилень) проектним значенням  $B(t_i)$ , де:

$$\begin{aligned} \Delta^1_{t_i}(B_i) &\equiv \left\| Del(El(B(t))) - \widetilde{Del}(El(B(t))) \right\|_{t_i} \\ \Delta^2_{t_i}(B_i) &\equiv \left\| Og(Kr(B(t))) - \widetilde{Og}(Krl(B(t))) \right\|_{t_i} \\ t_i &\in T \end{aligned} \quad (4.4)$$

причому,

$$|\Lambda^1_{t_i}(B_i)| > \varepsilon_1, |\Lambda^2_{t_i}(B_i)| > \varepsilon_2 \quad \text{– проектні допуски}$$

Природа формування масиву невідповідностей полягає в сукупності похибок, технологічних допусків та відхилень [5]:

– похибки виконання будівельно-монтажних робіт;

– похибка осідання елементів і об'єкта у цілому;

– похибка проектних даних;

– технологічних допусків і відхилень;

– похибки вимірів;

і може носити випадковий, систематичний або накопичувальний характер.

$$\{I_z(t_i), B(t_i), KTC_i\} \quad I_z(t_i, B(t_i), KTC_i)$$

– вимір в момент часу  $T_i$  на об'єкті  $B$ .

– технологія виміру в момент часу  $T_i$  на об'єкті  $B$ .

$\bigcup_i \{I_z(t_i), B(t_i), KTC_i\}$  – загальна технологія вимірів на об'єкті  $B$ ,

де  $KTC_i$  – комплекс вимірювальних засобів.

Нехай у момент часу  $\hat{t}$  будівництво завершено

відповідно до проекту  $B$ , тобто  $B(\infty) = B(\hat{t})$ .

Процес будівництва об'єкта з урахуванням вимірювальних робіт можна зобразити схематично. Розглянемо схему 4.1:

Звідки впливає представлення вимірів на будівельному об'єкті, як компонент технологій:

$$(t, B(t), H(t, B(t))), \{I_z(t_i), B(t_i), KTC_i\}, \quad (4.5)$$

Припустимо, що реалізація будівельного проекту  $B$  іде без будівельних помилок, завдання побудови технології вимірів реалізується відповідно до оптимізаційного завдання:

$$\hat{t} \rightarrow \min_{\bigcup_i \{I_z(t_i), B(t_i), KTC_i\}}$$

при

$$\{\Delta^1(t_i)\} = \emptyset, \{\Delta^2(t_i)\} = \emptyset, \quad (4.6)$$

Припустимо, що на кожному з монтажних горизонтів проводяться однакові виміри.

$$SI_z(t_i, B(t_i), KTC_i)$$

– сітка вимірів на момент часу  $t_i$  засобами  $KTC_i$  щодо проекту  $B(t_i)$ .

Визначимо вимірювальні процедури [4] на будівельному майданчику (рис. 4.1).

Перераховані вимірювальні процедури реалізуються за рахунок:

$t^1$  – перевірки параметрів вимірювальних і контрольних точок вихідної геодезичної мережі;

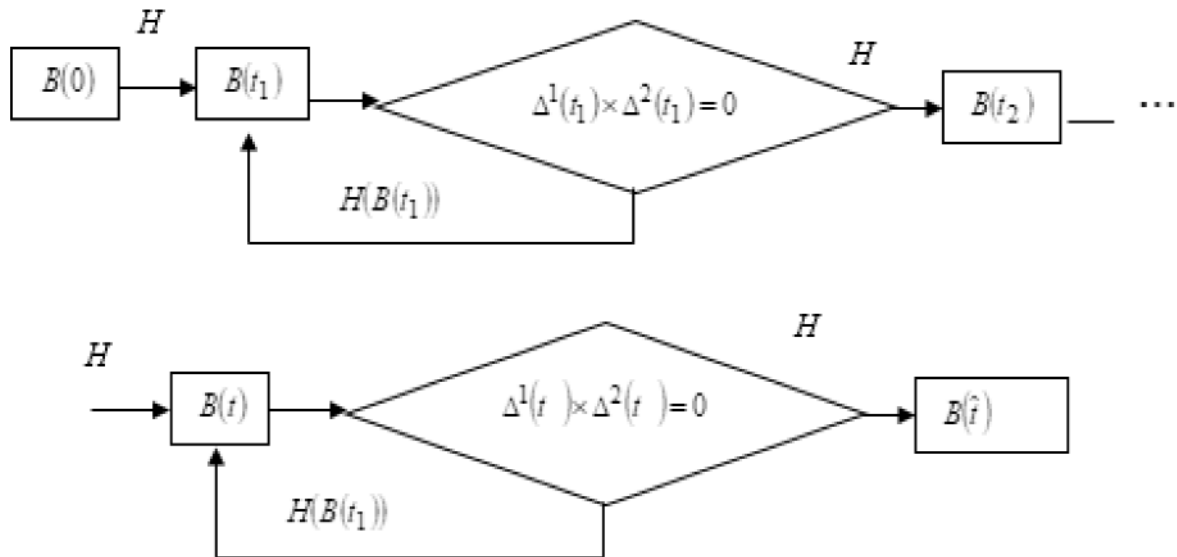


Рис. 4.1. Схема процесу будівництва об'єкта з урахуванням вимірювальних робіт

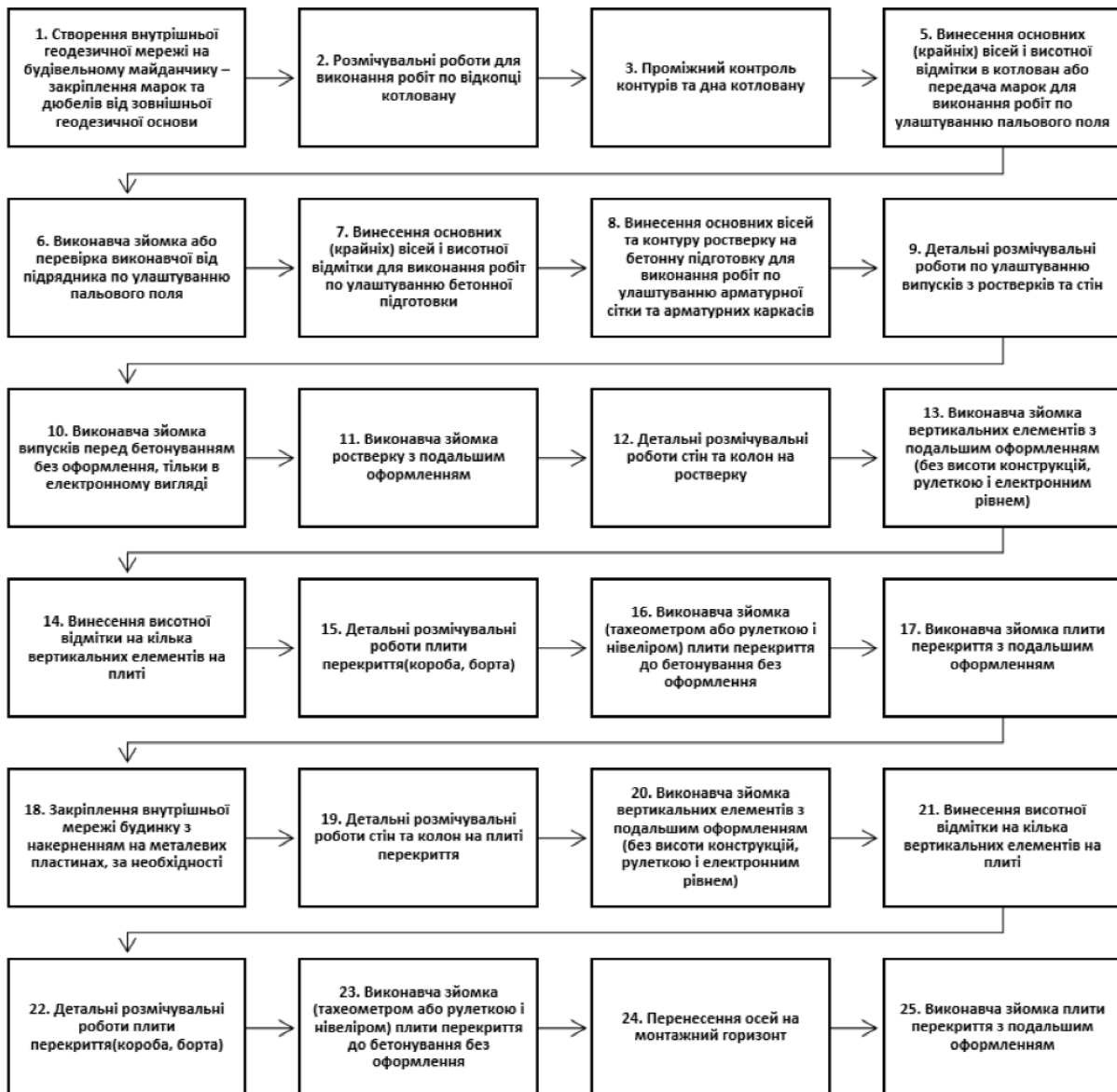


Рис. 4.2. Перелік та послідовність вимірювальних процедур при зведенні монолітного каркасу

$t^2$  – нанесення й переносу рисок, маяків, знаків, реперів, контрольних точок, внутрішньої мережі, суміщених осей;

$t^3$  – логістики, монтажу, демонтажу засобів КТС;

$t^4$  – власне вимірами приладами КТС;

$t_i^0 = \sum_{j=1}^4 t_i^j$  – часу вимірів на  $i$ -му монтажному горизонті.

$$\forall i, j \quad t_i^j = t_i^j(t_i, B(t_i), KTC_i, SI_z(t_i, B(t_i), KTC_i))$$

$$\tilde{t}(m, B(t), \{I_z(t_i, B(t_i), KTC_i)\}) = \sum_{i=0}^m t_i^0, \quad (4.7)$$

де  $m$  – кількість монтажних горизонтів і нульовий горизонт (котлован, фундамент, цоколь).

$\tilde{t}$  – витрати часу на вимірювальні роботи при реалізації проекту  $B$  засобами КТС на сітках вимірів  $SI_z(t_i, B(t_i), KTC_i)$ .

Таким чином, початкове поставлене завдання при зроблених обмеженнях еквівалентне наступному:

$$KTC_i; SI_z(t_i, B(t_i), KTC_i); \{SI_z(t_i, B(t_i), KTC_i)\} \min. \quad (4.8)$$

Аналізуючи оптимізаційний функціонал, окремими наступні фактори:

$F_1$  – кількість і якість використовуваного КТС і кваліфікацію персоналу, що використовує його

$F_2$  – ступінь комп'ютеризації обробки даних;

$F_3$  – наявність технології й методики розпаралелювання вимірів;

$F_4$  – швидкість монтажу, демонтажу, логістики приладів КТС;

$F_5$  – ступінь взаємозамінності й комплексності засобів вимірювання.

Сукупність факторів утворює дві групи:

$$G_1 \equiv \{F_1, F_4, F_5\}, G_2 \equiv \{F_2, F_3\}, \quad (4.9)$$

які можуть розглядатися як два групові фактори, перший з яких дозволяє мінімізувати сукупну кількість вимірів, а другий – мінімізувати витрати часу на реалізацію вимірів шляхом створення параметричної віртуальної моделі наступного монтажного горизонту або елемента на основі поточного монтажного горизонту з наступною прив'язкою.

**Висновки.** На підставі виконаних досліджень сформовано множину інформаційних завдань та послідовність їх вирішення для забезпечення повноти інформаційної моделі процесу вимірювальних робіт при зведенні монолітно-каркасних будівель. Встановлені вихідні дані для розробки такої моделі та визначений набір критеріїв формування масиву невідповідностей, визначено два групові фактори, перший з яких дозволяє мінімізувати сукупну кількість вимірів, а другий – мінімізувати витрати часу на реалізацію вимірів.

Використання методів інформаційного моделювання з врахуванням ефективних методів вимірювальних робіт при зведенні монолітно-каркасних будівель для отримання інформації про геометричні параметри конструкцій на різних монтажних горизонтах дозволить оптимізувати процес будівництва. Включення результатів вимірювальних робіт до будівельної інформаційної моделі об'єкта будівництва є напрямком для подальших досліджень.

### Література

1. Барабаш М.С. Информационные технологии интеграции на основе программного комплекса САПФИР Киев: // М.С. Барабаш, В.В. Бойченко, О.И. Палиенко // Издательство "Сталь" – 2012. – 485 с.
2. Григоровський П.Є. Будівельно-інформаційні моделі та методи формування організаційно-технологічних рішень інструментальних вимірювань в будівництві. Монографія, Київ, ЦП "Компринт", 2019 – 225 с.
3. ДБН В.1.3-2:2010. Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві: [Чинний від 2010-09-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 70 с. (Державні будівельні норми України).
4. Крошка Ю.В. Удосконалення організаційно-технологічних рішень вимірювальних робіт при зведенні монолітно-каркасних будівель: дис. К.т.н.: спец. 05.23.08. Харків: ХТУБА. 2020. 174с.
5. Чуканова Н.П. Інформаційно-експертна система для вибору засобів інструментальних вимірювань при будівництві та експлуатації будівель і споруд /Н. П. Чуканова, Ю. В. Крошка, О. В. Мурасьова. // Будівельне виробництво. – 2018. – №64. – С. 38-41.

### References

1. Barabash MS Information technologies of integration on the basis of the SAPFIR software complex Kiev: // MS Barabash, VV Boychenko, OI Palienko // Publishing House "Steel" – 2012. – 485 p.
2. Grigorovskiy PE Construction-information models and methods of formation of organizational-technological solutions of instrumental measurements in construction. Monograph, Kyiv, CP "Comprint", 2019 – 225 p.
3. DBN V.1.3-2: 2010. System for ensuring the accuracy of geometric parameters in construction. Geodetic works in construction: [Effective from 2010-09-01]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2010. 70 p. (State building norms of Ukraine).
4. Kroshka Yu.V. Improvement of organizational and technological decisions of measuring works at erection of monolithic-frame buildings: dis. Ph.D. : spec. 05.23.08. Kharkiv: KhTUBA. 2020. 174p.
5. Chukanova NP Information and expert system for the selection of instrumental measurements in the construction and operation of buildings and structures / N. P. Chukanova, Yu. V. Kroshka, OV Murasyova. // Construction production. – 2018. – №64. – P. 38-41.

**П.Е. Григоровский**, д.т.н., с.н.с., временно исполняющий обязанности директора ГП "НИИСП", г. Киев. Orcid 0000-0003-0527-5890;

**Е.В. Горда**, к.т.н, доцент кафедры информационных технологий проектирования и прикладной математики. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев. Orcid 0000-0001-7380-0533;

**Ю.В. Крошка**, Заведующий отдела инструментального контроля строительно-монтажных работ ГП "НИИСП", г. Кинв Orcid 0000-0001-6110-8443

### РАЗРАБОТКА СТРОИТЕЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ КОМПЛЕКСНОГО ПРОЦЕССА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ МОНОЛИТНО-КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ

***Аннотация.** Измерительные работы являются неотъемлемой частью технологических процессов строительного производства, их следует связывать с сроками выполнения общестроительных, монтажных, специальных и других работ. Измерительные работы в течение жизненного цикла в наибольшей степени влияют на продолжительность строительного этапа, так как при уменьшении (увеличении) продолжительности самых измерений возможно повлиять на продолжительность и последовательность основных работ технологических процессов при возведенные строения. Со стремительным развитием информационных технологий научные разработки по формированию организационно-технологических решений инструментальных измерений в строительстве активизировались.*

*В статье приведена попытка разработки строительной информационной модели измерительных работ при возведении наземной части монолитно-каркасных зданий. Использование методов информационного моделирования для получения информации о геометрические параметры конструкций монолитно-каркасных зданий позволит оптимизировать процесс возведения зданий с учетом полученных и реально измеренных отклонений их размеров в условиях реального времени. Включение результатов измерительных работ в строительной информационной модели (BIM) объекта строительства делает исследование актуальным.*

***Ключевые слова:** измерительные работы; строительные информационные модели; функция; отклонения размеров; элемент; каркас; строительных процесс.*

**P.E. Hryhorovskiy**, Doctor of Technical Sciences, acting Director, State Enterprise "Research institute of building production named V.S. Balitsky ", Kyiv. Orcid 0000-0003-0527-5890;

**O.V. Gorda**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technologies of Design and Ordinary Mathematics. Kyiv National University, whose construction and architecture, Kiev, Orcid 0000-0001-7380-0533;

**Yu.V. Kroshka**, Head of Department State Enterprise "Research institute of building production named V.S. Balitsky ", Orcid 0000-0001-6110-8443

### DEVELOPMENT OF CONSTRUCTION INFORMATION MODELS OF COMPLEX PROCESS OF MEASURING WORKS DURING CONSTRUCTION OF MONOLITHIC-FRAME BUILDINGS

***Annotation.** Measuring works are an integral part of technological processes of construction production, they should be associated with the timing of general construction, installation, special and other works. Measuring works during the life cycle to the greatest extent affect the duration of the construction phase, because by reducing (increasing) the duration of the measurements themselves can affect the duration and sequence of the main work of technological processes during the construction of the building. With the rapid development of information technology, scientific developments in the formation of organizational and technological solutions for instrumental measurements in construction have intensified.*

*The article presents an attempt to develop a construction information model of measuring works during the construction of the ground part of monolithic frame buildings. The use of information modeling methods to obtain information about the geometric parameters of the structures of monolithic frame buildings will optimize the process of erection of buildings taking into account the obtained and actually measured deviations of their dimensions in real time. The inclusion of the results of measurement work in the construction information model (BIM) of the construction site makes the study relevant.*

***Keywords:** measuring works; construction information models; function; dimensional deviation; element; frame; construction process.*