

УДК 69.001.57; 711.01

DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2020.38.2>**Григоровський П.Є.**

д.т.н., с.н.с.,

ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», м. Київ

Мурасьова О.В.

ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», м. Київ

Горда О.В.

к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики, Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ

ІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПРОЦЕСУ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ ПРИЛЕГЛОЇ УЩІЛЬНЕНОЇ ЗАБУДОВИ

При будівництві та експлуатації нових будинків виникають деформації, які призводять до часткового руйнування існуючих будинків, що потрапили у зону впливу об'єкта будівництва. Забезпечення придатного експлуатаційного стану будівель у зоні впливу нового будівництва можливе за рахунок використання ефективної системи своєчасного виявлення граничних деформацій та попередження утворення пошкоджень існуючих будівель. Правильний підхід до оцінки ситуації, яка виникає при будівництві, дозволяє не тільки своєчасно вжити необхідних заходів щодо захисту будівель, але і заощадити кошти, уникнувши необґрунтованих витрат по захисту будівель. Визначення основних факторів впливу на поруч розташовані будинки при здійсненні нового будівництва в умовах щільної міської забудови дозволить раціонально визначити склад систем моніторингу та зменшити трудовитрати отримання інформації для прийняття та реалізації рішень щодо забезпечення їх експлуатаційної придатності

В статті розглянуто формування методів інформаційного моделювання для вибору ефективних систем інструментального моніторингу з метою отримання інформації про стан прилеглих будівель в зоні впливу нового будівництва. Використання методів інформаційного моделювання для отримання інформації про ступінь впливу на прилеглі будівлі дозволить оптимізувати процес визначення технічного стану будівель з метою прийняття своєчасних заходів, що запобігають їх руйнуванню.

Агрегація дослідженої інформаційної моделі дозволить автоматизувати побудови множини початкових даних для вирішення прикладних завдань, аналізу їх обумовленості, синтезувати розподілені бази даних і структури інформаційної платформи предметної області, що робить дослідження актуальним.

Ключові слова: *ущільнена забудова, вплив нового будівництва, інформаційні моделі процесу, деформації, моніторинг.*

Вступ. Під час будівництва та експлуатації нових будинків виникають деформації, які призводять до часткового руйнування наявних будинків, що потрапили у зону впливу об'єкта будівництва. Забезпечення придатного експлуатаційного стану будівель у зоні впливу нового будівництва можливе за рахунок використання ефективної системи своєчасного виявлення граничних деформацій та попередження утворення пошкоджень наявних будівель. Вибір ефективної системи інстру-

ментального моніторингу будівель, що перебувають у зоні впливу нового будівництва, дасть змогу упередити утворення пошкоджень їх конструкції і забезпечити збереження експлуатаційної придатності прилеглої забудови.

Використання методів інформаційного моделювання для отримання інформації про ступінь впливу на прилеглі будівлі дасть змогу оптимізувати процес визначення технічного стану будівель з метою прийняття своєчасних заходів, що запобігають їх руйнуванню.

Під час формування комплексу методів контролю різної фізичної природи (агрегація, тобто об'єднання елементів в одну систему) виникає проблема оптимізації складу комплексу моніторингу з урахуванням критеріїв їх ефективності і витрат ресурсів. З аналізу наявних характеристик випливає необхідність вирішення завдання вибору складу (комплексу) методів контролю як завдання в оптимізаційній постановці. Завдання формування комплексу різних методів контролю для виявлення сукупності можливих (найбільш небезпечних дефектів) у системі може бути сформульоване як оптимізаційна багаторівнева багатокритеріальна задача.

Постановка проблеми. Досліджувана задача полягає у такому: в умовах ущільненої забудови в зоні впливу нового будівництва є можливість скорочення тривалості етапу будівництва нових будівель у разі збереження експлуатаційної придатності і виконання обмежень, зумовлених прилеглими будівлями, як у період забудови на часовому інтервалі T , так і після його завершення за рахунок виконання ефективних організаційно-технологічних компенсаційних заходів, розроблених на основі інформації інструментального моніторингу, що забезпечують своєчасне виявлення, прогнозування та упередження загрози виникнення пошкоджень прилеглих споруд, зменшення матеріальних збитків та запобігають удорожчання будівництва.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ущільнена забудова зумовлює ступінь взаємовпливів об'єктів нового будівництва та прилеглих будівель і споруд на основі земельної ділянки забудови і факторів навколишнього середовища. Тому інформаційну модель [1–3] потрібно створювати не тільки для об'єктів нового будівництва, але й для об'єктів, що вже експлуатуються.

$B(j)$ – об'єкти нового будівництва.

$B(j), j \in J$

$loc(B(j)) \subset D.$

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

$B(t)$ – споруда, що будується в момент часу t , згідно з проектом.

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

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

$B(t_i) = B_i$ – споруда, згідно з проектом, у момент часу t_i – це структура, що геометрично не змінюється.

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

$StB(t)$ – структура споруди в момент часу t :

$Nch(k), k \in K_{Nch}$ – фактори наявного навколишнього середовища на ділянці забудови до нового будівництва.

$Nch^+(k), k \in K_{Nch^+}$ – фактори навколишнього середовища після завершення будівництва за прогнозом.

$CNch(k), k \in K_{CNch}$ – обмеження на значення факторів навколишнього середовища у процесі нового будівництва і після його завершення.

D – земельна ділянка забудови.

D^+ – зона прогнозного впливу нового будівництва на наявні прилеглі будівлі і споруди.

D_0^+ – зона прогнозованого впливу нового будівництва без урахування наявних прилеглих будівель і споруд.

$D \subset D^+.$

$D \subset D_0^+.$

$D_0^+ \subset D^+.$

D_B – зона впливу процесу нового будівництва на наявні прилеглі будівлі і споруди.

$D \subset D_B.$

$Ne(i)$ – прилеглі будівлі і споруди.

$Ne(i), i \in I_{Ne}, loc(Ne(i)) \subset D^+, loc(Ne(i)) \not\subset D,$
 loc – оператор локалізації (розташування).

Специфіка інформаційних задач для наявних прилеглих будівель і споруд представлена на рис. 1.

Кожна будівля, споруда $B_m, m \in M$ має свою зону впливу $D_z(B_m, t)$ на D довільну земельну ділянку Eth , на якій вона розташована, тобто $loc(B_m) \subset Eth$.

Кожна будівля, споруда $B_m, m \in M$ має свою зону впливу $D_z(B_m, t)_D$ на земельну ділянку D нової забудови $B(j), j \in J$ за умови $D \subset D_z(B_m, t)_D$.

Зона впливу прилеглих або суміжних будівель та споруд $D_z(\{Ne(i)\}, t)_D, i \in I_{Ne} D_z(B_m, t)_D$ на земельну ділянку D – суперпозиція зон впливу будівель та споруд, що на ній розташовані.

Зона впливу будівель та споруд на земельну ділянку (ЗВЗУ) – динамічний об'єкт.

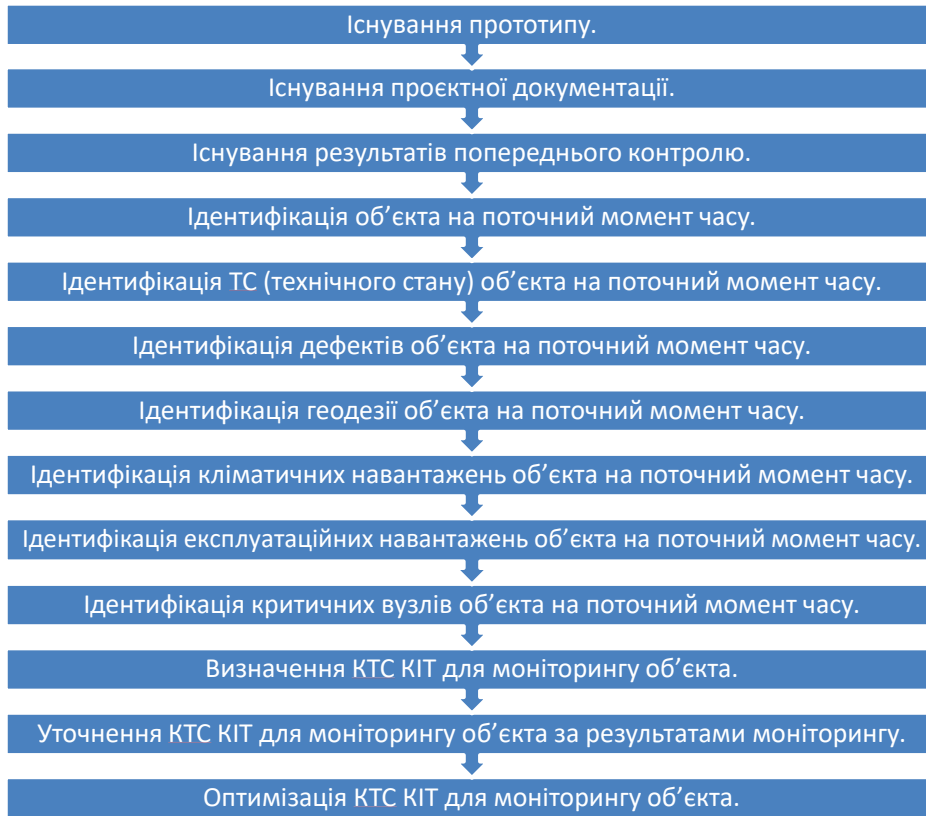


Рис. 1. Алгоритм формування інформаційних задач для наявних прилеглих будівель і споруд

Зона впливу будівель та споруд на земельну ділянку (ЗВЗУ) деформується новими об'єктами будівництва.

$Dat(D, \{Ne(i)\})$ – архівні дані; що містять відомості про технічний стан об'єктів, виявлені в актах впливу будівельних робіт на наявну забудову, актах і розпорядженнях експлуатаційних організацій щодо фактів такого впливу.

$Rcg(D)$ – дані рекогносцирувальних обстежень території.

$Fe(i), i \in I_{Fe}$ – експлуатаційні фактори наявних прилеглих будівель і споруд до нового будівництва.

$CFe(i), i \in I_{Fe}$ – обмеження на значення факторів експлуатації наявних прилеглих будівель і споруд нового будівництва.

$Fe_T(i), i \in I_{FeT}$ – експлуатаційні фактори прилеглих будівель і споруд у процесі нового будівництва.

$C_T Fe(i), i \in I_{FeT}$ – обмеження на значення факторів експлуатації наявних прилеглих будівель і споруд у процесі нового будівництва.

$Fe^+(i), i \in I_{Fe^+}$ – прогнозно-експлуатаційні фактори наявних прилеглих будівель і споруд після завершення будівництва.

$CFe^+(i), i \in I_{Fe^+}$ – обмеження на значення факторів експлуатації наявних прилеглих будівель і споруд після нового будівництва.

$CondFe = (\{CFe(i)\}, \{C_T Fe(i)\}, \{CFe^+(i)\}, \{CNch(k)\})$.

Інформація інструментального моніторингу (Imn) інженерних вишукувань [4–8]:

$Imn(D, T) = (D, Gd, Gl, Gt, Gr, Gs, T)$, де:

Gd – інженерно-геодезична інформація;

Gl – інженерно-геологічна інформація;

Gt – геотехнічна інформація;

Gr – інженерно-гідрогеологічна інформація;

Gs – спеціальні вишукування.

$T = [t_b, t_e]$ – заданий відрізок часу, де

t_b – початок, t_e – завершення будівництва.

$Imn(D, t_b) = Rcg(D)$.

$Kz(l), l \in L_{Kz}$ – компенсаційні заходи щодо мінімізації впливу нового будівництва на прилеглу забудову.

$Sdm(t)$ – системи доступного інструментального моніторингу на момент часу t .

Rez_1 – організаційно-технологічні рішення на постійній та тимчасовій основі щодо запобігання стосовно об'єктів прилеглої забудови аварійним ситуаціям та деструктив-

ним процесам, які можуть виникнути під час зведення нових будівель.

$$Re z_1 = Re z_1(\{B(i)\}, \{Kz(I)\}, Imn(D, t), Dat(D, \{Ne(i)\}))$$

$TRe z_1$ – час реалізації заходів $Re z_1$.

$Re z_2$ – проектно-конструкторські та організаційно-технологічні рішення на постійній та тимчасовій основі із захисту об'єктів прилеглої забудови від техногенного впливу після завершення будівництва.

$$Re z_2 = Re z_2(\{B(i)\}, \{Kz(I)\}, Imn(D, t), Dat(D, \{Ne(i)\}))$$

$TRe z_2$ – час реалізації заходів $Re z_2$.

$Re z_3$ – моніторинг технічного стану об'єктів прилеглої забудови, їх конструкцій та збудованих об'єктів шляхом безперервного або періодичного спостереження і контролю.

$$Re z_3 = Re z_3(\{B(i)\}, Sdm(t), Imn(D, t), \{Ne(i)\})$$

$TRe z_3$ – час реалізації заходів $Re z_3$.

$$TR = Tre z_1 + Tre z_2 + Tre z_3$$

$Crit(Re z_1, Re z_2, Re z_3)$ – за результатами інструментального моніторингу прогнозування динаміки процесів у D та D^+ , з урахуванням співвідношення вартості моніторингу до можливих збитків від несвоєчасного виявлення пошкоджень та аварій у $\{Ne(i)\}$.

$$Crit(Re z_1, Re z_2, Re z_3) \rightarrow \min_{\{Re z_i\}_{i=1,3}} = \{Crit^*(Re z_1, Re z_2, Re z_3)\}$$

Парето оптимальна область.

$$Tr \rightarrow \min_{\{Crit^*, CondFe\}}$$

Вибір варіанту системи інструментального моніторингу забудови, прилеглої до нового будівництва

$$\{Ob_k\} = \{B(j)\} \cup \{Ne(i)\}, k1, 2, \dots, |J| + |I_{Ne}|$$

$KTC_{i,k}(Ob_k, t_i)$ – комплекс вимірювальних засобів для Ob_k в t_i .

$I_z(t_i, B(k, t_i), KTC_{i,k})$ – вимірювання в момент часу t_i на об'єкті $B(k, t_i) \in \{Ob_k\}$.

$\{I_z(t_i, B(k, t_i), KTC_{i,k})\}$ – технологія вимірювання в момент часу t_i на об'єкті $B(k, t_i) \in \{Ob_k\}$.

$\bigcup_i \{I_z(t_i, B(k, t_i), KTC_{i,k})\}$ – загальна технологія вимірювань на об'єкті Ob_k

Нехай у момент часу t_i будівництво завершено у відповідності до проекту $\{B\}$, $B(\infty) = B(t_{end})$

Тому:

$(t, B(t), H(t, B(t))), \{I_z(t_i), B(t_i), KTC_{i,k}\}$ – представлення вимірювань на об'єкті будівництва як компонента технологій.

За припущення, що реалізація будівельного проекту B протікає без помилок у будівництві, задача побудови технології вимірювань зводиться до оптимізаційної задачі:

$$t_{end} \rightarrow \min_{\cup \{I_z(t_i), B(t_i), KTC_{i,k}\}}$$

Використовуючи критеріальну модель БОМ (базовий об'єкт моніторингу) п. 2, аналізуючи оптимізаційний функціонал, виділимо такі фактори:

– F_1 – кількість і якість КТС (комплекс вимірювальних засобів), що використовується, та кваліфікацію персоналу, що його використовує;

– F_2 – ступінь комп'ютеризації обробки даних;

– F_3 – наявність технології та методики розпаралелювання геодезичних вимірювань;

– F_4 – швидкість монтажу, демонтажу, логістики приладів КТС (комплекс вимірювальних засобів);

– F_5 – ступінь взаємозаміщення та комплексності вимірювальних засобів.

Сукупність факторів утворює дві групи: $G_1 \equiv \{F_1, F_4, F_5\}$, $G_2 \equiv \{F_2, F_3\}$, які можуть розглядатися як два групові фактори, перший з яких дає змогу мінімізувати сукупну кількість геодезичних вимірювань, а другий – мінімізувати витрати часу на реалізацію вимірювань.

Критичність системи в рамках всього технічного об'єкта, його функціональної структури є властивістю системи, що відображає можливість виникнення відмов та визначає ступінь впливу на працездатність системи в цілому для такого рангу наслідків.

Під час аналізу безпеки складних об'єктів значна увага приділяється питанням визначення критичності БОМ. Формально завдання ранжирування БОМ за ступенем критичності з урахуванням одного або сукупності критеріїв належить до класу задач визначення переваг багатовимірних альтернатив. Її рішення у кожному конкретному випадку залежить від типів систем, вибраних часткових показників критичності, експертної інформації, динамічних рядів:

$\{Спостережувані фактори, t, по відносній величині залишкового ресурсу, швидкості убування залишкового ресурсу, за$

вартістю збитків, за вартістю поточного ремонту}.

Тому у формуванні комплексу методів контролю різної фізичної природи виникає проблема оптимізації складу комплексу з урахуванням критеріїв їх ефективності і витрат ресурсів. З аналізу наявних характеристик впливає необхідність вирішення завдання вибору складу (комплексу) методів контролю як завдання в оптимізаційній постановці. Завдання формування комплексу різних методів контролю для виявлення сукупності можливих (найбільш небезпечних дефектів) у системі може бути сформульоване як оптимізаційна багаторівнева багатокритеріальна задача. Рішення завдання – оптимальне поєднання різних засобів і методів контролю, застосування яких найбільш ефективно під час експлуатації та аналізу ресурсу дорогих будівельних систем.

Характеристики комплексу технічних засобів вимірювальної техніки:

$KTC = \{SI_i\}_{i=1, \overline{N}}$ – комплекс технічних засобів вимірювальної техніки $\{SI_i\}_{i=1, \overline{N}}$. Для $\{SI_i\}_{i=1, \overline{N}}$ визначено $E(SI_i)$, $D(SI_i)$, $Pars(SI_i)$, $Parf(SI_i)$

Також визначені:

– доступність $SI_i \equiv DS(SI_i, T_j, M_i(B)) =$

$$= \begin{cases} 1, & t \in T_j, B \Leftrightarrow M_i(B) \neq \emptyset; \\ 0 & \end{cases}$$

T_j – часовий інтервал експлуатації SI_i ;
– вартість експлуатації $P(SI_i) = K_i T_i$, K_i – коефіцієнт вартості;

– замінюваність $Q(SI_i) = Q\{SI_{ij}\}$ – сукупність вимірювальних засобів для вимірювання тих же значень, що і SI_i ;

– розрахунки вимірюваних даних $R(SI_i) = E(SI_i) - V - V_x$;

– дисципліна використання (обмеження) $Cond(SI_i) = Det(SI_i) \cup M_R(SI_i) - D(SI_i)$.

Висновки. Побудова будівельної інформаційної моделі комплексного процесу інструментального моніторингу прилеглої ущільненої забудови – оптимальне поєднання різних засобів і методів контролю, застосування яких найбільш ефективно під час експлуатації та аналізу ресурсу дорогих будівельних систем. Завдання формування комплексу різних методів контролю для виявлення сукупності можливих (найбільш небезпечних дефектів) у системі може бути сформульоване як оптимізаційна багаторівнева багатокритеріальна задача, рішення якої полягає в оптимальному поєднанні різних засобів і методів контролю.

Агрегація дослідженої інформаційної моделі дасть змогу автоматизувати побудови множини початкових даних для вирішення прикладних завдань, аналізу їх зумовленості, синтезувати розподілені бази даних і структури інформаційної платформи предметної галузі, що робить дослідження актуальним.

Література

1. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учебное пособие для вузов. Москва : «Высш. школа», 1977.
2. Григоровський П.Є. Будівельно-інформаційні моделі та методи формування організаційно-технологічних рішень інструментальних вимірювань у будівництві : монографія. Київ : ЦП «Компринт», 2019.
3. Стороженко Н.Р., Голева А.И. Математическая модель и алгоритм мониторинга параметров информационной системы. Омский научный вестник. 2018. № 6. С. 256–259.
4. ДБН А.2.1-1-2008. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Вишукування. Інженерні вишукування для будівництва. (Чинний від 2014-08-01). Київ : Мінрегіон України, 2014. 128 с. (Державні будівельні норми України).
5. ДБН А.3.1-5-2016. Організація будівельного виробництва. (Чинний від 2017-01-01). Київ : Мінрегіон України, 2016. 49 с. (Державні будівельні норми України).
6. 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).

7. ДБН В.2.2-9-2009. Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. (Державні будівельні норми України).
8. ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. Діє з 01.01.2019. Київ : Мінрегіон України, 2018. (Державні будівельні норми України).

References

1. Gmurman, V.E. (1977). Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika : ucheb. posobiye dlya vuzov. Moskva: "Vyssh. Shkola".
2. Hryhorovskiy, P.Ye. (2019). Budivselno-informatsiini modeli ta metody formuvannya orhanizatsiino-tekhnologichnykh rishen instrumentalnykh vymiriuvan v budivnytstvi. Monohrafiia, Kyiv: TsP "Kompynt".
3. Storozhenko, N.R., Goleva, A.I. (2018). Matematicheskaya model i algoritm monitoringa parametrov informatsionnoy sistemy. Omskiy nauchnyy vestnik. No. 6 Pp. 256–259.
4. DBN A.2.1-1-2008. Vyshukuvannya, proektuvannya i terytorialna diialnist. Vyshukuvannya. Inzhenerni vyshukuvannya dlia budivnytstva. [Chynnyi vid 2014-08-01]. Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2014. 128 s. (Derzhavni budivselni normy Ukrainy).
5. DBN A.3.1-5-2016. Orhanizatsiia budivselnoho vyrobnytstva. (Chynnyi vid 2017-01-01). Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2016. 49 s. (Derzhavni budivselni normy Ukrainy).
6. DBN V.1.3-2:2010. Systema zabezpechennia tochnosti heometrychnykh parametrov u budivnytstvi. Heodezychni roboty u budivnytstvi. (Chynnyi vid 2010-09-01). Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2010. 70 s. (Derzhavni budivselni normy Ukrainy).
7. DBN V.2.2-9-2009. Budyanky i sporudy. Hromadski budyanky ta sporudy. Osnovni polozhennia. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2010. (Derzhavni budivselni normy Ukrainy).
8. DBN V.2.1-10:2018 Osnovy i fundamenti budivel ta sporud. Osnovni polozhennia. Diie z 01.01.2019. Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2018. (Derzhavni budivselni normy Ukrainy).

INFORMATION MODELLING OF THE COMPLEX PROCESS OF INSTRUMENTAL MONITORING OF ADJACENT SEALED BUILDINGS

During the construction and operation of new buildings, deformations occur, which lead to the partial destruction of existing buildings that have fallen into the area of influence of the construction object. Ensuring the proper operational condition of buildings in the area of influence of new construction is possible through the use of an effective system of timely detection of boundary deformations and prevention of damage to existing buildings. The correct approach to the assessment of the situation that arises during construction, allows not only to take the necessary measures to protect buildings, but also to save money, avoiding unreasonable costs for the protection of buildings. Determining the main factors influencing nearby houses during new construction in a dense urban development will rationally determine the composition of monitoring systems and reduce labor costs for obtaining information to make and implement decisions to ensure their operational suitability

The article considers the formation of information modeling methods for the selection of effective instrumental monitoring systems in order to obtain information about the condition of adjacent buildings in the area of influence of new construction. The use of information modeling methods to obtain information about the degree of impact on adjacent buildings will optimize the process of determining the technical condition of buildings in order to take timely measures to prevent their destruction.

The aggregation of the studied information model will automate the construction of a set of initial data to solve applied problems, analyze their conditionality, synthesize distrib-

uted databases and the structure of the information platform of the subject area, which makes the study relevant.

Key words: comparated buildings, impact of new construction, information process models, deformations, monitoring.

Hrihorovskyi P.Ye.

Doctor of Technical Sciences, Senior Research Officer,
State Enterprise “Scientific Research Institute of Building Production”, Kyiv

Murasova O.V.

State Enterprise “Scientific Research Institute of Building Production”, Kyiv

Gorda O.V.

Ph.D, Assistant Professor at the Department of Information Technology Design and
Applied Mathematics,

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv