

УДК 624.012

## ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДЛЯ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

У роботі пропонуються розроблені окремі положення моніторингу будівельних конструкцій, які увійшли до чинного ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016. Розглянуто склад та задачі системи моніторингу. Як приклад одного з елементів системи моніторингу приведена математична модель будівлі, яка дала можливість виконати оперативне попереднє прогнозування значень контрольованих параметрів будівельних конструкцій.

In the work, developed separate provisions for monitoring the construction structures, which are included in the current ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016. In the work the composition and tasks of the monitoring system are considered. As an example of one of the elements of the monitoring system, the mathematical model of the building is considered. The mathematical model made it possible to perform operative preliminary forecasting of the values of controlled parameters of building constructions.

**Ключові слова:** аварійний стан, техногенні надзвичайні ситуації, технічний стан, житловий фонд, контрольовані параметри, безпека експлуатації, надійність, моніторинг, математична модель.

**З**гідно з статистичними даними національної доповіді в останні п'ять років в Україні в середньому виникало 50–60 пожеж та вибухів, які досягали критеріїв надзвичайних ситуацій, 25–30 катастроф на транспорті, 7–12 аварій в системах життєзабезпечення, 5–10 випадків раптового руйнування будівель та споруд, 5–10 аварій в електроенергетичних системах.

Однією з основних причин виникнення надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру в Україні є застарілість основних фондів та аварійний стан значної частини мереж комунального господарства.

Зростання ризику виникнення техногенних надзвичайних ситуацій в Україні обумовлено тим, що в найбільш відповідальних галузях об'єкти підвищеної небезпеки та потенційно небезпечні об'єкти мають напрацювання проектного ресурсу на рівні 50–70 %, а іноді досягають передаварійного рівня.

Переважна більшість надзвичайних ситуацій є результатом незадовільного технічного стану споруд, конструкцій, обладнання та інженерних мереж, їх значного зношення внаслідок закінчення нормативного терміну експлуатації – нормативного ресурсу, невиконання нормативних обсягів планово-попереджувальних ремонтів, порушення регламенту експлуатації та недостатньої надійності функціонування в умовах екстремальних природних явищ.

Станом на 1 січня 2013 року житловий фонд країни становив 1094,2 млн. м<sup>2</sup> загальної площі, з якого 64,0 % (700,7 млн. м<sup>2</sup>) – житловий фонд міських поселень. Житловий фонд налічував 10179,9 тис. будинків, включаючи ті (10,8 тис.), що перебували на балансі підприємств-банкрутів та тих, що припинили свою діяльність.



**Ю.А. Отруш**

доцент кафедри будівельних конструкцій Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, к.т.н., доцент

В експлуатації знаходилось 4,9 млн. м<sup>2</sup> ветхого та аварійного житлового фонду, або 0,4 % від усього житлового фонду, в якому проживало 117,5 тис. осіб.

За матеріалами досліджень аналітичного центру асоціації міст України, в державі налічується 25,5 тис. будинків, побудованих за проектами перших масових серій великопанельних, блокових і цегляних, загальною площею 72 млн м<sup>2</sup>, тобто 23 % міського житлового фонду потребує відновлення шляхом реконструкції та модернізації.

У багатьох регіонах експлуатується житло, вік якого становить понад півстоліття. Так, у Черкаській, Харківській, Запорізькій, Миколаївській областях близько 30 % житлових будинків побудовані в 1950-х роках і раніше, 18–20 % такого житла припадає на АР Крим, Закарпатську, Івано-Франківську області. У столиці на його частку припадає 13,5 %.

Неприпустимість подальшого зниження рівня безпеки та зменшення тривалості роботи об'єктів життєзабезпечення внаслідок експлуатації споруд, конструкцій, обладнання та інженерних мереж, які працюють на межі вичерпання свого ресурсу і становлять потенційну небезпеку для життя та діяльності людей, потребує вжиття комплексу заходів. Це створення сталої системи правового регулювання у сфері забез-

**Технічний стан житлового фонду (будівель) у міській та сільській місцевості**

Регіон	Кількість житлових будинків усього, тис. одиниць	Ветхі житлові будинки, одиниць	Аварійні житлові будинки, одиниць	Рівень потенційної загрози руйнації, $n \cdot 10^{-5}$
АР Крим	332,69	987	161	350
Вінницька	569,43	3018	878	685
Волинська	232,37	1299	229	665
Дніпропетровська	608,02	1740	258	330
Донецька	849,50	4946	1617	764
Житомирська	380,47	2870	515	895
Закарпатська	303,01	911	237	380
Запорізько	351,67	827	232	328
Івано-Франківська	340,77	972	347	383
Київська	525,56	2614	451	585
Кіровоградська	318,77	149	19	53
Луганська	518,39	1793	231	388
Львівська	453,59	1336	430	390
Миколаївська	269,96	1456	623	780
Одеська	481,42	4258	1314	1150
Полтавська	422,61	1389	210	380
Рівненська	261,67	1414	235	635
Сумська	330,84	1836	270	638
Тернопільська	285,86	897	490	485
Харківська	495,53	4177	547	970
Херсонська	285,76	1011	323	475
Хмельницька	380,42	1566	309	494
Черкаська	429,24	2728	590	750
Чернівецька	246,17	977	286	509
Чернігівська	393,51	836	100	238
м. Київ	33,68	356	6	109
м. Севастополь	30,10	86	54	470
<b>Всього</b>	<b>10313</b>	<b>46449 (0,46 %)</b>	<b>10962 (0,1 %)</b>	<b>557 (середнє)</b>

печення надійності та безпечної експлуатації споруд, конструкцій, обладнання та інженерних мереж і збільшення обсягів робіт з обслуговування і ремонту житла із застосуванням новітніх енергозберігаючих технологій і матеріалів, ліквідація аварійного (ветхого) житла.

В останні роки набула актуальності проблема моніторингу оточуючого середовища та експлуатаційного спрацювання елементів будівель та споруд, інженерних мереж [1]. Проблема пов'язана з вивченням питань збереження будівель та споруд, що експлуатуються, забезпечення їх безпеки, масового накопичення інформації про стан будівель і споруд в залежності від умов експлуатації, вдосконалення системи моніторингу і поширення її на міста України.

**Метою роботи** є розроблення методів попередження відмов конструкцій, елементів і систем будівель та споруд задля їх безпечної експлуатації у відповідності з чинними вимогами норм при мінімальних затратах ресурсів.

Розроблено окремі положення моніторингу будівельних конструкцій, які увійшли до чинного ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 [2], що визначає контрольовані параметри різних видів моніторингу технічного стану будівельних конструкцій, будівель і споруд на різних етапах їх життєвого циклу: проектування, будівництво, експлуатація, консервування, розконсервація, ліквідація.

Організація моніторингу з забезпечення експлуатаційної безпеки будівель та споруд

базується на спостереженні за змінами показників параметрів стану та оцінювання визначених змін.

Кількість і види контрольованих параметрів визначаються згідно з результатами попереднього обстеження, вимогами нормативної і проектної документації та умовами збереження експлуатаційних властивостей об'єкта впродовж його життєвого циклу.

Основою для проектування системи моніторингу будівель та споруд, у тому числі розроблення програми моніторингу і визначення періодичності спостережень, є класифікація будівельних конструкцій відповідно до вимог чинних нормативних документів щодо забезпечення безпеки експлуатації будівель і споруд [3, 4].

Розроблений стандарт ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 [2] поширюється на будівлі та споруди для класів відповідальності за можливими наслідками СС2, СС3 згідно з ДБН В.1.2-14-2009 [4]. Цей стандарт установлює загальні вимоги до проведення моніторингу технічного стану конструктивних елементів, будівель та інженерних споруд.

Параметри впливів та їх величини визначають згідно з вимогами чинних нормативних документів [3, 4] за даними спостережень метеорологічних станцій; за паспортами на обладнання та іншими документами і використовуються в розрахунках і проектуванні об'єкта, а також є базовими для контролювання його технічного стану в періоди зведення та експлуатації.

Зміни технічного стану конструктивних елементів реєструються датчиками системи моніторингу, які дозволяють отримувати дані реакції об'єкта на зовнішні і внутрішні впливи, а саме:

- переміщення об'єкта та окремих елементів у просторі у вигляді прогинів, осідань, кренів тощо;
- деформації в будівельних конструкціях;
- зміни динамічних характеристик будівельних конструкцій і будівлі в цілому;
- зміни в середовищі, що оточує об'єкт моніторингу.

Моніторинг будівельних конструкцій проводиться на підставі затвердженої програми з допомогою технічних засобів неруйнівного контролю та встановленої періодичності. Періодичність проведення робіт визначається з урахуванням класів відповідальності будівельних

конструкцій згідно з ДБН В.1.2-14-2009 [4]. При цьому мінімальна періодичність спостережень встановлюється відповідно до проектної і нормативної документації або спеціальних вимог до конкретного об'єкта. За необхідності періодичність окремих видів спостережень елементів будівельних конструкцій будівель і споруд може коригуватись.

Результатами моніторингу є інформація про стан об'єкта та території забудови, що наводиться у проміжних та заключних звітах, які оформляються на підставі реєстрації, накопичення та первинного аналізу інформації від чутливих елементів, які встановлюють на будівельних конструкціях, що підлягають контролю. За результатами моніторингових спостережень у складі звіту надається висновок про поточні значення контрольованих параметрів будівельних конструкцій.

Результати моніторингу використовуються для оцінювання технічного стану будівельних конструкцій, будівель та споруд. Кінцевим результатом оцінки технічного стану будівельних конструкцій може бути висновок про можливість (неможливість) подальшої експлуатації будівель та споруд у штатному режимі.

Постійному контролю технічного стану будівель та споруд з використанням автоматизованих систем піддаються відповідальні за критеріями безпеки конструкції. При цьому використовуються прилади і обладнання з автоматичним зберіганням, обробленням і передачею результатів вимірювань по інформаційних каналах зв'язку.

Параметри технічного стану за їх граничними критеріями оцінюються для прийняття рішень щодо:

- забезпечення безпеки людей;
- переведення об'єкта в режим аварійної експлуатації, вжиття протиаварійних заходів та мінімізації можливих наслідків;
- підсилення несучих конструкцій об'єкта.

Система моніторингу будівельних конструкцій складається з наступних основних елементів:

- вимірювальних елементів контрольованих параметрів. Вимірювальними елементами є датчики реєстрації зміни параметрів стану будівельних конструкцій. Точність вимірювань і кількість датчиків визначаються програмою моніторингу;

- інформаційної системи реєстрації, накопичення та первинної обробки показників контрольованих параметрів будівельних конструкцій;
- математичної моделі (або її автоматизованого аналога в інформаційній системі) для оперативного попереднього прогнозування значень контрольованих параметрів будівельних конструкцій на найближчий час;
- системи налаштування й управління інформаційною системою моніторингу будівельних конструкцій.

Математична модель (або її автоматизований аналог в інформаційній системі) дає можливість виконати оперативне попереднє прогнозування значень контрольованих параметрів будівельних конструкцій. Результатом оперативного попереднього прогнозу є висновок про експлуатаційну придатність контрольованих будівельних конструкцій з врахуванням можливої тенденції до погіршення їхнього технічного стану. Прогноз виходу реєстрованих значень визначених параметрів будівельних конструкцій за межі заданого критерію є основою для прийняття рішень щодо можливості подальшої експлуатації будівлі або споруди.

Математичне моделювання зміни технічного стану об'єктів, що складаються з великої кількості конструктивних елементів, досить складне. Це обумовлюється невизначеністю та випадковістю. Тому вибір моделі, яка описує зміни стану будівлі, не є однозначним. Може бути ви-

користано багато різних моделей. На це впливають фізико-хімічні процеси, що протікають в матеріалах, з яких виготовлені конструкції, навантаження, процеси, які відбуваються під час експлуатації, якість виготовлення конструкцій, а також інша група чинників – кліматичні фактори та оточуюче середовище.

У роботі як приклад запропонована математична модель будівлі Кінотеатру ім. Гагаріна по вул. Щусєва, 5 у Шевченківському районі м. Києва (рис. 1). Необхідність у проведенні обстеження будівельних конструкцій виникла внаслідок припинення експлуатації будівлі за прямим призначенням без розроблення і виконання в натурі заходів щодо консервації будівлі.

Будівля кінотеатру – це складна в плані різноповерхова споруда, побудована в 70-х роках минулого століття. Конструктивна система її основної частини безкаркасна з несучими цегляними стінами.

Як несучі горизонтальні елементи в цій частині використано кроквяні збірні залізобетонні двоскатні балки прогоном 18 м. За результатами проведених досліджень балки відповідають маркуванню 1Б4-18-2 за серією ПК-01-06.

На верхній пояс кроквяних балок опираються ребристі плити покриття, які відповідають маркуванню ПНС-12 серії ПК-01-111 з несучою здатністю  $650 \text{ кг/м}^2$  (без врахування власної ваги), що відповідає корисному нормативному навантаженню  $380 \text{ кг/м}^2$ .

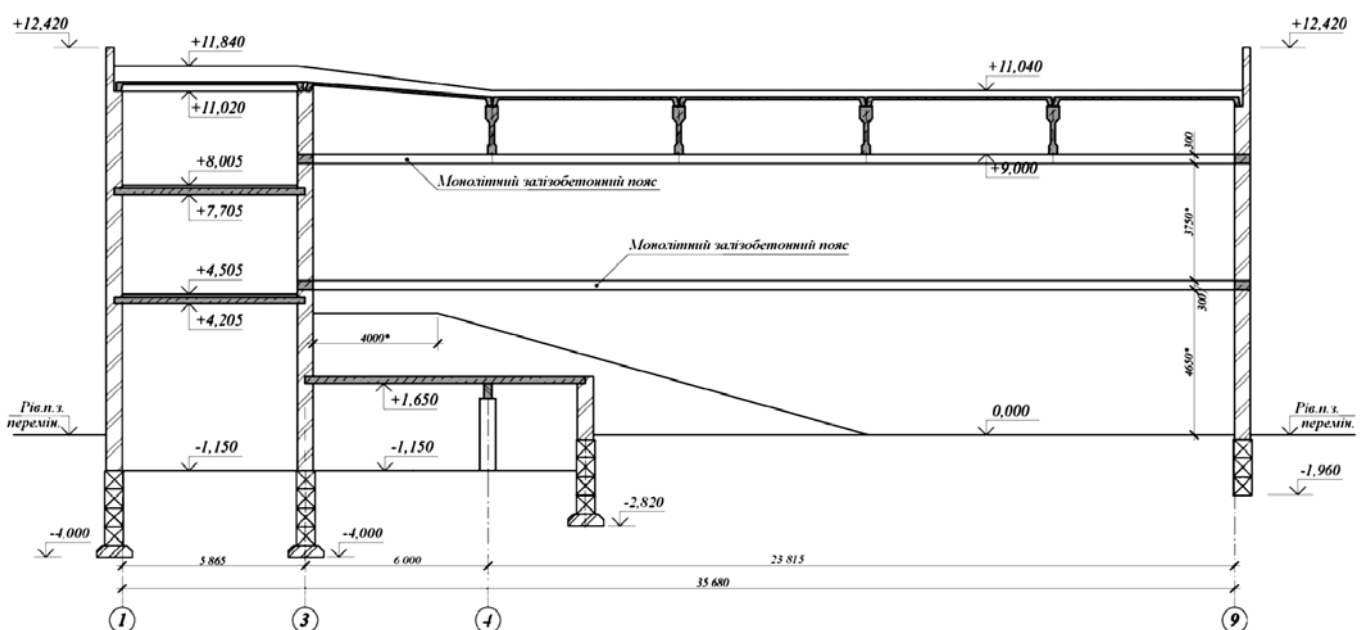


Рис. 1. Розріз будівлі Кінотеатру ім. Гагаріна по вул. Щусєва, 5 у Шевченківському районі м. Києва

Просторова жорсткість основної частини будівлі забезпечується сумісною роботою цегляних стін завтовшки 510 мм, які підсилено двома горизонтальними залізобетонними поясами, разом із залізобетонним горизонтальним диском покриття, утвореним шляхом приварювання закладних деталей плит до відповідних закладних елементів балок і замонолічування швів між ребрами плит покриття цементно-піщаним розчином.

Перекриття над підвалом виконано зі збірних багатопустотних залізобетонних плит типу ПК із бетону класу С25/30 (В30), які лежать уздовж буквених осей. По осі 4 плити опираються на збірні залізобетонні прогони перерізом 510×160 мм, завдовжки 5980 мм із бетону класу С25/30 (В30). Перекриття над першим поверхом виконано зі збірних багатопустотних залізобетонних плит, типу ПК із бетону класу С25/30 (В30), які лежать вздовж буквених осей, за винятком осей В-Ж/3-(4/5). Перекриття над другим поверхом виконано зі збірних багатопустотних залізобетонних плит завдовжки 5760 та 2760 мм, завширшки 1190 мм і завтовшки 220 мм типу ПК із бетону класу С25/30 (В30), які лежать уздовж буквених осей.

За результатами виконаних обстежень встановлено, що зовнішні стіни будівлі мають пошкодження, що свідчить про початок руйнування та зниження несучої здатності: відшарування облицювання, часткове замочування, розморожування та руйнування кладки в верхній частині стін у районі розташування водовідведення з покрівлі зальної частини й обпирання кроквяних балок на монолітний залізобетонний пояс, вивітрювання розчину з швів, локальні руйнування зовнішніх прошарків кладки в місцях замочування, послаблення цеглин, тріщини в кладці, випадання цеглин з кладки (рис. 2, 3). Як найбільш імовірна причина появи пошкоджень у стінах розглядається незадовільно виконане водовідведення з покрівлі, припинення експлуатації будівлі без розроблення і впровадження заходів щодо консервації, незадовільний стан вимощення, відсутність відведення атмосферних опадів за межі майданчика.

Для обґрунтування мінімально необхідного армування конструкцій необхідно визначити напружено-деформований стан будівлі в цілому (зусилля, які виникають у конструкціях будівлі, а також переміщення конструкцій). З цією ме-



Рис. 2. Вигляд кладки стіни фасаду по осях 10–1

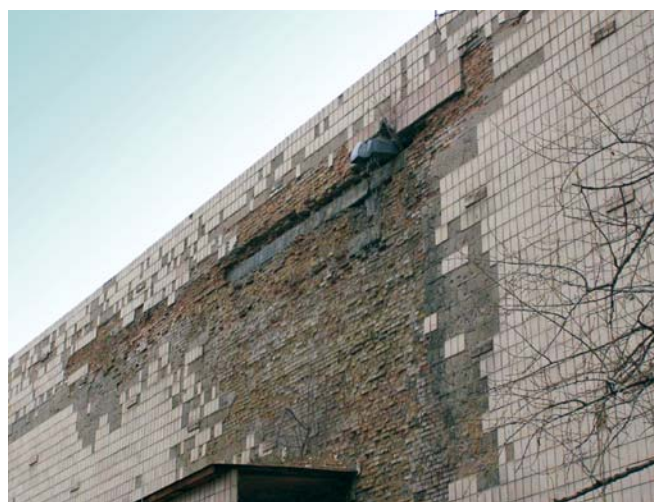


Рис. 3. Руйнування кладки стіни фасаду по осях 10–1 у місці розташування водовипускних пристроїв

тою розроблена скінченно-елементна модель будівлі в лінійній постановці задачі. Розрахунки будівлі виконані з урахуванням податливості основи і жорсткості монолітної фундаментної плити та конструкцій каркаса.

Розрахунки будівлі здійснені на основі математичної моделі, розробленої для сумісного розрахунку системи «ОСНОВА– ФУНДАМЕНТ– БУДІВЛЯ». Просторова розрахункова модель, як єдина структурна система, складається з двох підструктур:

- підструктура № 1 – розрахункова скінченно-елементна модель конструктивної системи будівлі;
- підструктура № 2 – розрахункова модель основи.

Розрахунок будівлі (підструктура № 1) виконано з використанням програмного комплексу «Lira-Windows», в основі якого метод скінченних елементів у переміщеннях, і системи ГРУНТ, програми автоматизованого створення моделі ґрунту і розрахунку параметрів пружної основи (підструктура № 2).

Розрахунок виконано ітераційним способом, при якому на першому кроці роботи ПК «Lira-Windows» збираються навантаження у вигляді реакцій на позначці підшви фундаментів з урахуванням жорсткості конструкцій об'єкта, що розраховується, і постійних значеннях коефіцієнтів жорсткості основи. Отримані значення реакцій основи передаються як величини навантажень тиску на її розрахункову модель з подальшим розрахунком по деформаціях (осіданнях), за якими визначаються нові (перерозподілені) коефіцієнти жорсткості основи.

Обчислені значення коефіцієнтів жорсткості основи з урахуванням роботи ґрунтів у лінійній стадії підставляються в початкові дані для роз-

рахунку моделі на ПК «Lira-Windows» на другому кроці. За результатами виконання цього розрахунку виконується аналіз напружено-деформованого стану розрахункової схеми.

Комп'ютерна модель будівлі базується на скінченно-елементній апроксимації конструкції.

Фундаменти та плитні конструкції змодельовано плоскими оболонковими скінченними елементами. Моделювання стін виконано оболонковими SE типу 41, 42 і 43 «чотирикутний елемент оболонки і трикутний елемент оболонки». Колони змодельовано SE типу 10 – «універсальний просторовий стрижень».

Система ГРУНТ – програма автоматизованого створення моделі ґрунту і розрахунку параметрів пружної основи (коефіцієнтів жорсткості основи C1, C2).

Розрахунок основи виконувався згідно з ДБН В. 2.1-10:2009 [5].

Модель ґрунту містить відомості про геологію в кожній точці майданчика будівництва.

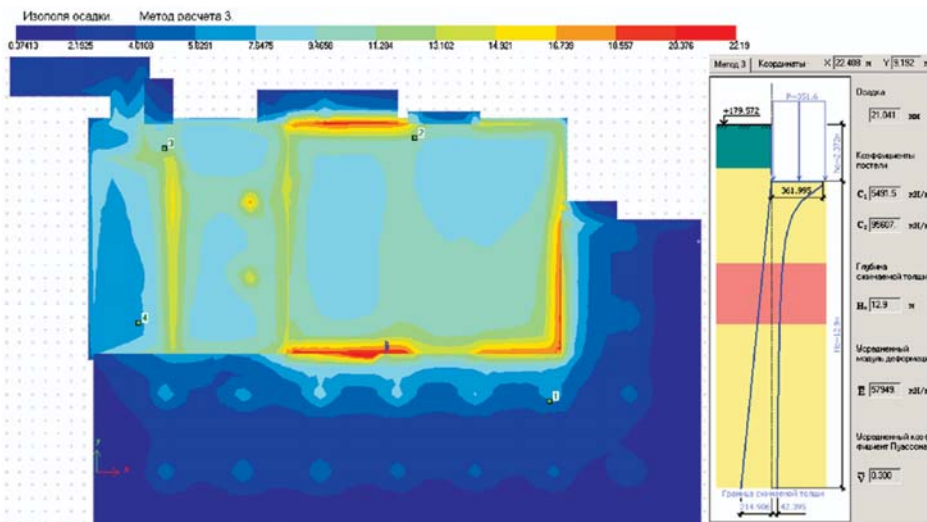


Рис. 4. Ізополя осідань, мм

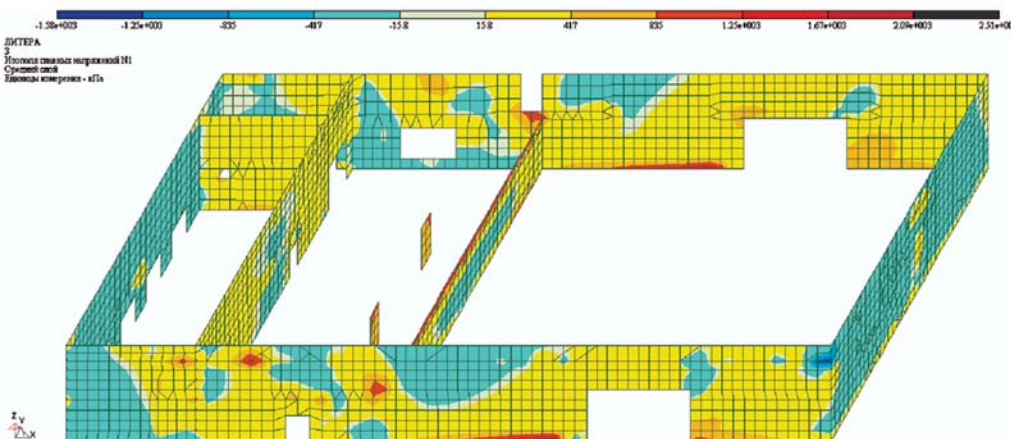


Рис. 5. Розподіл головних напружень  $N_1$  у стінах першого поверху

Кожен складовий ІГЕ (інженерно-геологічний елемент) описується наступними характеристиками ґрунту:

- модуль деформації  $E$ ;
- коефіцієнт Пуассона  $\nu$ ;
- питома вага ґрунту  $\gamma$ .

Виконаними розрахунками конструкцій встановлено, що найбільша деформація ґрунтів основи становить 22,19 мм під стінами зальної частини будівлі (рис. 4). Згідно з рекомендованим додатком И ДБН В.2.1-10-2009 [5], для багатопверхових безкаркасних будівель з несучими стінами з цегляної кладки з улаштуванням залізобетонних поясів середні осідання не повинні перевищувати 18 см, тобто розрахункові осідання будівлі не перевищують граничних величин.

Відповідно до вимог, які викладено в п. 5.3 [6], стан зовнішніх стін будівлі оцінюється як непридатний для експлуатації. Для забезпечення подальшої надійної експлуатації стін будівлі необхідно виконати ремонт цегляної кладки та вимощення, а також підмазати шви та очистити фасад. Рекомендується вжити заходів з унеможливлення замочування кладки стін – організоване водовідведення з покрівлі та території забудови, а також утеплення стін у відповідності з вимогами чинних нормативних документів.

Розроблена модель дозволяє визначити зусилля і переміщення у всіх СЕ, якими змодельо-

вана будівля. Як приклад, на рис. 5 наведено результати розрахунку стіни першого поверху.

#### Висновки.

1. Розроблено окремі положення моніторингу будівельних конструкцій, які увійшли до чинного ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 [2]. Стандарт визначає контрольовані параметри різних видів моніторингу технічного стану будівельних конструкцій, будівель і споруд на різних етапах їх життєвого циклу: проектування, будівництво, експлуатація, консервування, розконсервація, ліквідація.

2. Моніторинг являє собою систему, задачею якої є збирання достовірної і оперативної інформації про стан експлуатаційної спрацьованості елементів будівель і споруд та інженерних систем, аналіз інформації з метою оцінювання впливу факторів на стан експлуатаційної спрацьованості елементів, прогнозування термінів відновлення, оцінка ефективності експлуатації.

3. Розроблену методологію в частині діагностики технічного стану і визначення залишкового ресурсу будівельних конструкцій застосовано при проектуванні елементів підсилення конструкцій будівель та споруд. Для розрахунків конструкцій було використано моделювання НДС конструкцій будівлі із залученням ОК ЛІРА. Це дозволило розрахунковим шляхом виконати оптимізацію технічних рішень і конструкцій підсилення для будинків, що експлуатуються, і виконати подальше підсилення з мінімальними витратами.

- [1] Стражников А.М. Научные основы, разработка и реализация системы мониторинга жилищного фона в мегаполисах: Автореф. дис. докт. техн. наук. Специальность 05.02.22. – Москва, 2003. – 43 с.
- [2] ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель та споруд / ДП «УкрНДНЦ». – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 38 с.
- [3] ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування / Мінбуд України. – К.: Мінбуд України, 2006. – 60 с.
- [4] ДБН В.1.2-14:2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – Уведено вперше [зі скасуванням в Україні ГОСТ 27751, СТ СЭВ 3972-83, СТ СЭВ 3973-83, СТ СЭВ 4417-83, СТ СЭВ 4868-84]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 32 с.

- [5] ДБН В.2.1-10-2009. Державні будівельні норми України. Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Основи та фундаменти будинків і споруд. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування / Мінрегіонбуд України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 82 с.
- [6] ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану / Мінрегіон України. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 45 с.

Надійшла 20.11.2017 р.