

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД ПІСЛЯ СИЛОВИХ І ТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВІВ

Гордіюк М. П., Семиног М. М., Голоднов О. І., Ткачук І. А.

1. Вступ

Залізобетонні елементи стін і перекриттів були і залишаються основними складовими частинами будівель та споруд різного призначення. Останнім часом у зв'язку зі значним зростанням об'ємів будівництва монолітно-каркасних будівель підвищеної поверховості актуальним залишається питання забезпечення комфортної та безпечної експлуатації [1–3]. Цього неможливо досягнути без урахування геометричної нелінійності та специфіки деформування матеріалів елементів конструкцій, побудови адекватних розрахункових схем та забезпечення вимог нормативних документів щодо міцності та деформативності конструкцій [4, 5].

При розрахунках сталезалізобетонних плит сучасних конструкцій обґрунтовано використання як мінімум двох варіантів СЕ (аббревіатура фр. *Conformité Européenne* – європейська відповідність) для моделювання елементів сталезалізобетонного перекриття [6–8]. Для ефективного зчеплення елементів сталезалізобетонних перекриттів між собою необхідно виконувати в профнастилi виштамповки [9].

Досвід експлуатації стінових панелей, колон, пілонів, інших стиснутих і згинаних елементів свідчить про їхній достатній запас несучої здатності за умов відсутності непередбачуваних (непроектних) впливів. Однією з найбільш істотних причин підвищеної небезпеки розглядається нерівномірне нагрівання і зміна характеристик міцності та деформативності матеріалу конструкцій під час і після пожежі [1–3]. Технічні тенденції в розвитку методик теплотехнічного розрахунку залізобетонних конструкцій, розрахунок втрат тепла фундаментної плити при нерівномірних температурних профілях внутрішньої температури наведено в роботі [10]. Визначення міцності та деформативності сталезалізобетонних балок з різними анкерними упорами та типами вогнезахисту при тристоронньому нагріві в [11, 12].

У зв'язку з вищевикладеним виникає необхідність в проведенні робіт по обстеженню, визначенню контрольованих параметрів (прогинів, переміщень, тріщин, характеристик міцності та деформативності матеріалів конструкцій тощо) та оцінці технічного стану. Такі роботи виконуються для визначення категорії технічного стану у відповідності з вимогами п. 5.2 чинного нормативного документу [13]. Визначення категорії технічного стану дозволяє прийняти рішення про можливість подальшої експлуатації або про відновлення експлуатаційної придатності існуючих конструкцій шляхом підсилення або заміни. При цьому необхідно враховувати і вимоги чинного нормативного документу [14].

Більшість чинників, що впливають на довговічність будівель та споруд, носять випадковий характер, тому надійність і довговічність будівельних конструкцій визначаються законами теорії ймовірності.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є технічний стан і несуча здатність конструкцій будівель та споруд після силових і високотемпературних впливів.

Технічний стан елементів залежно від здатності їх виконувати протягом прогнозованого терміну всі функції, передбачені проектною і нормативною документацією, можна класифікувати як [13]:

– технічний стан конструкцій нормальний – категорія технічного стану «1»: фактичні зусилля в елементах та перерізах конструкції не перевищують допустимих за розрахунком; відсутні дефекти та пошкодження, які знижують несучу здатність та довговічність або перешкоджають нормальній експлуатації;

– технічний стан конструкції задовільний – категорія «2»: за експлуатаційними якостями конструкція відповідає категорії технічного стану «1». Мають місце часткові відхилення від вимог проекту, дефекти або пошкодження, які можуть знизити довговічність конструкції або частково порушити вимоги другої групи граничних станів. Така обставина в конкретних умовах експлуатації конструкцій не обмежує використання об'єкта за визначеним призначенням. Потрібні заходи захисту конструкції та дотримання вимог щодо його використання;

– технічний стан конструкції – не придатний до нормальної експлуатації – категорія «3»: конструкція не відповідає категоріям технічного стану «1», «2» щодо несучої здатності або до нормальної реалізації захисних функцій. Аналіз дефектів і пошкоджень з перевірними розрахунками виявляє можливість забезпечення цілісності конструкції до проведення ремонту, підсилення або заміни. Необхідно виконати ремонт, підсилення або заміну конструкції, а до завершення цих заходів використовувати об'єкт за обмеженим режимом експлуатації, контролюючи стан конструкції, навантаження та впливи;

– технічний стан конструкції аварійний – категорія «4»: порушені вимоги першої групи граничних станів (або неможливо запобігти цим порушенням). Аналіз дефектів та пошкоджень з перевірними розрахунками показує неможливість гарантувати цілісність конструкції до проведення її ремонту, підсилення або заміни, якщо остаточно втрачена можливість нормальної реалізації захисних функцій конструкції. Особливо це стосується можливого «крихкого» характеру руйнування. Необхідно негайно виключити перебування людей в зоні можливого обвалення та/або вжити заходів, які унеможливають таке обвалення до проведення ремонту, підсилення або заміни конструкції або до ліквідації об'єкта.

Передбачено, що конструкції впродовж всього життєвого циклу внаслідок старіння та деградації можуть послідовно перебувати в кожному з чотирьох технічних станів. Встановлення того, в якому з вказаних технічних станів перебуває дана конструкція або будівля в цілому в конкретний час, є завданням комплексу робіт із оцінки їхніх технічних станів.

Відповідно до вимог проектної та нормативної документації встановлюють критерії (кількісні й якісні показники) оцінки технічного стану конструкцій і елементів. Ці критерії встановлюються на основі аналізу наявної технічної та чинної нормативної документації.

Критерії необхідні для порівняння з ними фактичних значень контрольованих і визначальних параметрів, які отримують в процесі робіт з оцінки технічного стану конструкцій.

3. Мета та задачі дослідження

Мета роботи полягає у розвитку методів розрахунку з урахуванням пружно-пластичних властивостей матеріалів і термічних впливів для вирішення практичних задач.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Розробити комплекс взаємозв'язаних заходів щодо визначення параметрів технічного стану конструкцій після різних впливів.

2. Встановити параметри та критерії технічного стану, які були б придатні для розрахунків напружено-деформованого стану і визначення технічного стану конструкцій, будинків та споруд в цілому.

3. Розробити методи визначення характеристик міцності та жорсткості елементів будинків та споруд після різних впливів.

4. Розробити методи розрахунку напружено-деформованого стану, оцінки технічного стану і можливості його регулювання для подальшої експлуатації конструкцій будівель після різних впливів.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Розвиток будівельної науки і сучасних комп'ютерних технологій дозволяє враховувати специфічні особливості застосованих матеріалів та конструкцій. Серед таких прогресивних конструкцій можна відмітити сталі залізобетонні, трубобетонні конструкції, будівлі з монолітним каркасом тощо. В той же час більшість об'єктів різного призначення побудовано з використанням конструкцій і матеріалів минулого. Такі конструкції експлуатуються понад 30 років під дією різних впливів, що потребує визначення їхнього технічного стану [1, 2].

Серед основних напрямків вирішення цієї проблеми, які було виявлено в ресурсах світової наукової періодики, можуть бути виділені:

– врахування температурних впливів, в тому числі кліматичних [3];

– врахування геометричної нелінійності та нелінійної роботи конструкцій [4, 5], що дозволяє здійснювати побудову адекватних розрахункових схем, знижувати матеріаломісткість, забезпечувати конструктивну безпеку, стійкість від прогресуючого обвалення;

– врахування при розрахунках плити двох варіантів СЕ для моделювання елементів сталезалізобетонного перекриття [6, 8], що дозволило визначити прогини та переміщення конструкцій.

Також в одній із проаналізованих робіт [7] показано, що в трубобетонних конструкціях при великих навантаженнях арматура деформується пружно, а в бетоні відбуваються пластичні деформації. В цій роботі йдеться про те, що

центрально-стиснутий трубобетонний елемент не вдається зруйнувати в повному розумінні цього слова. І це дозволяє рекомендувати такі конструкції для широкого вжитку в якості колон будівель.

В іншій же роботі [9] обґрунтовано необхідність виконання в профнастилi виштамповок між собою для ефективного зчеплення елементів сталезалізобетонних перекриттів. А в роботі [10] наведено технічні тенденції в розвитку методик теплотехнічного розрахунку залізобетонних конструкцій, а також розрахунок втрат тепла фундаментної плити при нерівномірних температурних профілях внутрішньої температури. Визначення же міцності та деформативності сталезалізобетонних балок з різними анкерними упорами та типами вогнезахисту при тристоронньому нагріві показано в [11, 12].

Всі наведені вище роботи, окрім робіт [1–3], дозволяють вирішувати частинні випадки розрахунку конструкцій. А ось методи вирішення задачі визначення параметрів технічного стану конструкцій після різних впливів в доступній авторам літературі відсутні, що обумовлює перспективність проведеного дослідження.

5. Методи досліджень

При дослідженні були використані наступні наукові методи:

- методи обстеження будівельних конструкцій для визначення контрольованих параметрів із застосуванням сучасних методів і приладів;
- математичне моделювання напружено-деформованого стану конструкцій будівель та споруд;
- методи будівельної механіки при розрахунках конструкцій будівель та споруд при різних впливах;
- оцінка технічного стану на основі проведених обстежень і розрахунків конструкцій.

Оцінка (комплекс взаємозв'язаних заходів) технічного стану здійснюється в такій послідовності [1, 2, 13]:

- аналіз технічної документації;
- візуальне обстеження стану конструкцій;
- інструментальне обстеження стану конструкцій;
- аналіз результатів візуального й інструментального обстеження;
- виконання перевірочних розрахунків (при необхідності);
- оцінка технічного стану;
- висновки про можливість подальшої експлуатації та рекомендації щодо приведення конструкцій в придатний для експлуатації стан;
- визначення залишкового ресурсу.

Для оцінки технічного стану конструкцій використовуються:

- критерій відповідності конструкції (споруди) робочій документації (розміри, армування, конструктивні особливості);
- критерій відповідності конструкції (споруди) визначальним параметрам технічного стану (наявність або відсутність неприпустимих дефектів, відповідність застосованих матеріалів вимогам проекту тощо) і задоволення вимогам розрахунку за граничними станами першої та другої груп.

За наслідками аналізу технічної документації, візуального й інструментального обстежень конструкцій приймається рішення щодо необхідності виконання перевірного розрахунку.

Як критерії для прийняття рішення про необхідність виконання перевірочних розрахунків конструкцій і споруд в цілому розглядаються:

- наявність дефектів, що знижують несучу здатність конструкцій;
- зниження характеристик міцності матеріалів у порівнянні з проектними (встановлюються шляхом проведення обстеження конструкцій методами руйнівного і неруйнівного контролю);
- зменшення площі робочого перетину елемента;
- перевищення фактичних експлуатаційних навантажень проектних значень;
- технологічні впливи, непередбачені проектом (в тому числі дія високої температури під час пожежі);
- розвиток нерівномірних деформацій основи.

В ході виконання перевірочних розрахунків передбачається:

- математичне моделювання методом скінченних елементів з урахуванням встановленого деформованого стану [1–3];
- розрахунок конструкцій і визначення зусиль і деформацій в елементах розрахункової схеми;
- порівняння характеру деформації реального об'єкту та математичної моделі й уточнення характеристик жорсткості матеріалів елементів моделі;
- розрахунок уточненої моделі, визначення зусиль і переміщень;
- перевірка дотримання умов, що забезпечують несучу здатність і деформативність будівельних конструкцій, будівель і споруд, оцінка їхнього технічного стану;
- коректування розрахункової схеми споруди з урахуванням встановлення елементів підсилення і розрахунок нової моделі;
- проектування підсилення.

Оцінка технічного стану конструкцій (споруди) проводиться шляхом зіставлення контрольованих параметрів, які визначаються в ході проведення візуального й інструментального обстежень, з відповідними проектними параметрами, а також за результатами перевірочних розрахунків [1–3].

6. Результати дослідження

Застосування розробленої методики на практиці проілюстровано наступним прикладом визначення технічного стану конструкцій будівлі «Кінотеатру імені Гагаріна» по вул. Щусєва, 5 у Шевченківському районі міста Києва в Україні (N 50°47'34.259", E 30°44'67.098.15"). Під час проведення обстеження виконано інженерно-геологічні дослідження ґрунтів основи та дослідження з метою визначення фізико-механічних характеристик матеріалів конструкцій і серій конструкцій. Особливістю цієї споруди є те, що в одному з приміщень виникла пожежа.

Будівля кінотеатру «Імені Гагаріна» являє собою складну в плані різноповерхову споруду, яку побудовано в 70-х роках минулого століття.

Будівля складається з трьох об'ємів. Основним об'ємом (частиною) будівлі є зала для глядачів. Вона являє собою одноповерхову споруду з перепадом висоти приміщення. До зали прибудовано технологічну частину, яка являє собою трьохповерхову споруду.

Конструктивна система основної частини будівлі безкаркасна з несучими цегляними стінами. В кладці стін розміщено два монолітні залізобетонні пояси. За результатами проведених досліджень встановлено, що за густиною кладка класифікується, як «умовно ефективна», за міцністю на стиск та згин відповідає марці М100. Кладка будівлі має суттєві пошкодження: тріщини, руйнування поверхневих прошарків тощо.

За результатами лабораторних випробувань цементно-піщаного розчину встановлено, що за міцністю на стиск розчин відповідає марці М25 (в приміщенні, де була пожежа) та мінімум марці М50 (в інших приміщеннях).

Як несучі горизонтальні елементи в зальній частині використано кроквяні збірні залізобетонні двоскатні балки прольотом 18 м. За результатами проведених досліджень балки відповідають маркуванню 1Б4-18-2 по серії ПК-01-06.

На верхній пояс кроквяних балок обпираються ребристі плити покриття. За результатами проведених досліджень ребристі плити відповідають маркуванню ПНС-12 по серії ПК-01-111 з несучою здатністю 650 кг/м^2 (без врахування власної ваги). Це відповідає корисному нормативному навантаженню 380 кг/м^2 .

Просторова жорсткість основної частини будівлі забезпечується сумісною роботою цегляних стін товщиною 510 мм, горизонтальними залізобетонними поясами та залізобетонним горизонтальним диском покриття.

Отримані в ході проведення обстежень результати було використано для розрахунку напружено-деформованого стану будівлі. Розрахунки будівлі здійснено на основі математичної моделі, яку розроблено 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.

Метою виконання комплексного розрахунку було отримання напружено-деформованого стану конструкцій будівлі й основи, як системи, що працює спільно.

Розрахунок будівлі (підструктура № 1) виконано з використанням програмного комплексу ПК «ЛІРА САПР», в основу якого встановлений метод скінченних елементів в переміщеннях. Для розробки моделі було використано наступні скінченні елементи, які дозволяють найповніше врахувати властивості матеріалів, конструкцій, їхніх з'єднань і ґрунтів основи:

- тип 10 – універсальний просторовий стрижньовий скінчений елемент;
- типи 41, 42 і 43 – чотирикутний елемент оболонки, трикутний елемент оболонки;
- тип 51 – елемент, який дозволяє моделювати вертикальні переміщення ґрунтів основи.

Моделювання шпунтів основи виконано за допомогою системи ГРУНТ (підструктура № 2) – програми автоматизованого створення моделі ґрунту і розрахунку параметрів пружної основи (коефіцієнтів жорсткості основи C_1, C_2).

Система ГРУНТ забезпечує інтерфейс обміну даними між ПК «ЛІРА САПР», блоком визначення осідань і коефіцієнтів жорсткості основи, а також враховує несучу здатність фундаментів при визначенні коефіцієнтів жорсткості при значних навантаженнях на основу. Це дозволяє визначати напруження в масиві ґрунту від кругової площі навантаження шляхом чисельної інтеграції для всього масиву елементарних шарів всіх фундаментних плит з урахуванням взаємного впливу. Це збільшує точність визначення осідань фундаментних плит порівняно з прямокутною площею навантаження.

Використовувалися наступні функції програми:

- створення моделі ґрунту на підставі заданих свердловин;
- розрахунок параметрів пружної основи;
- розрахунок коефіцієнтів жорсткості основи C_1 , C_2 для СЕ, які передано з системи ЛІР-ВІЗОР.

Модель ґрунту містить відомості про геологію в кожній точці майданчика будівництва. Кожен складовий ПЕ (інженерно-геологічний елемент) описується наступними характеристиками ґрунту:

- модуль деформації E ;
- коефіцієнт Пуассона ν ;
- питома вага ґрунту γ .

Розглядалися навантаження, які було імпортовано з ЛІР-ВІЗОР. Використовувалась розрахункова схема у вигляді напівпростору (задача Буссінеска), що лінійно деформується.

Розрахунок виконано ітераційним способом, при якому на першому кроці роботи ПК «ЛІРА САПР» збирались навантаження у вигляді реакцій на позначці підшви фундаментів з урахуванням жорсткості конструкцій об'єкту, що розраховується, і постійних значеннях коефіцієнтів жорсткості основи. Отримані значення реакцій основи передавались як величини навантажень тиску на розрахункову модель основи з подальшим її розрахунком по деформаціях (осіданням), по яких визначаються нові (перерозподілені) коефіцієнти жорсткості основи.

Для підрахунку осідань основи в кожній розрахунковій точці на контакті з фундаментами застосовано метод підсумовування деформацій елементарних прошарків по даній вертикалі без урахування бічного розширення. При цьому напруження від власної ваги ґрунту підраховувались загальноприйнятим методом, а розподілені напруження обчислювались на основі замкнутих рішень для моделі напівпростору, що лінійно-деформується. Розподілені напруження підраховувались з урахуванням взаємного впливу ділянок даного фундаменту. Обчислені значення коефіцієнтів жорсткості основи з урахуванням роботи ґрунтів в лінійній стадії підставлялись в початкові дані для розрахунку моделі на ПК «ЛІРА САПР» на другому кроці. За результатами виконання цього розрахунку виконувався аналіз напружено-деформованого стану розрахункової схеми.

Виконано розрахунки і встановлено, що найбільша деформація ґрунтів основи становить 22,19 мм під стінами зальної частини будівлі (рис. 1). Згідно вимог чинних нормативних документів, 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.

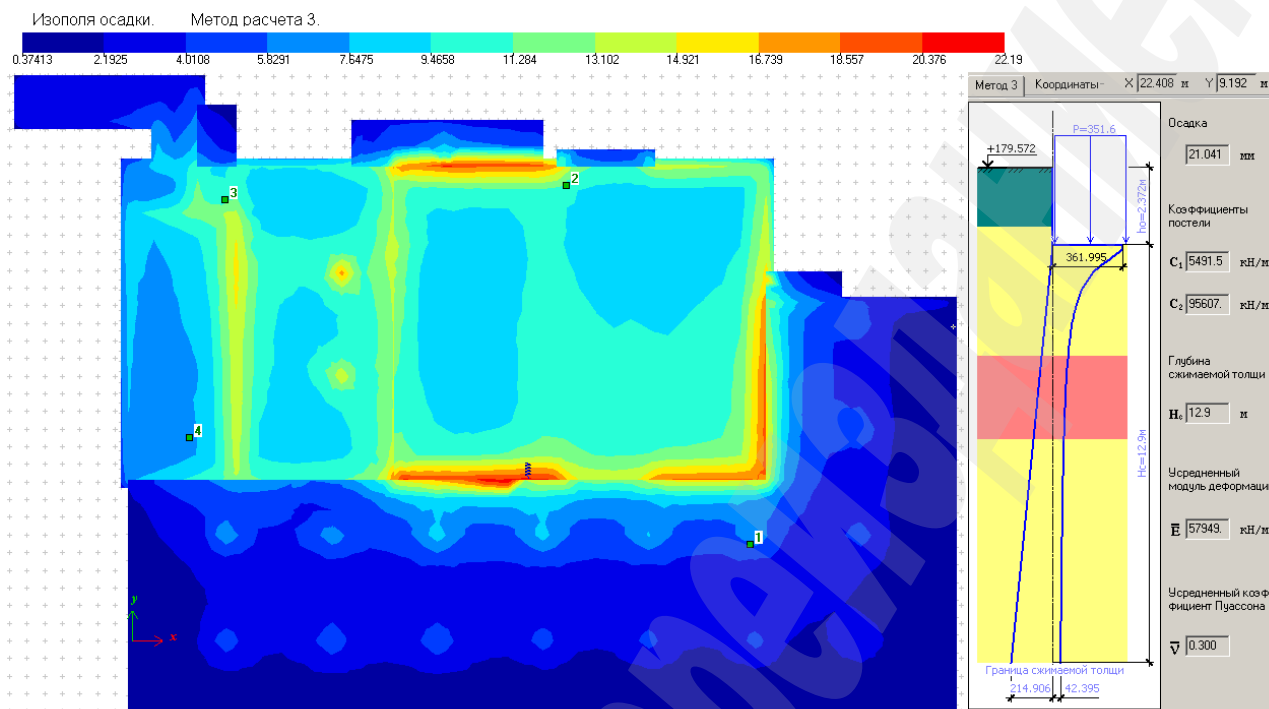


Рис. 1. Изополюса осідань, мм

Відповідно до вимог, які викладено в п. 5.2 [13], стан зовнішніх стін будівлі оцінюється як непридатний для експлуатації. Для забезпечення подальшої надійної експлуатації стін будівлі необхідно виконати ремонт цегляної кладки, підмазування швів, очищення фасаду, відремонтувати вимощення. Рекомендується виконати заходи, які унеможливають 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 змодельовано будівлю. Як приклад, на рис. 2 наведено деякі результати розрахунку стіни першого поверху.

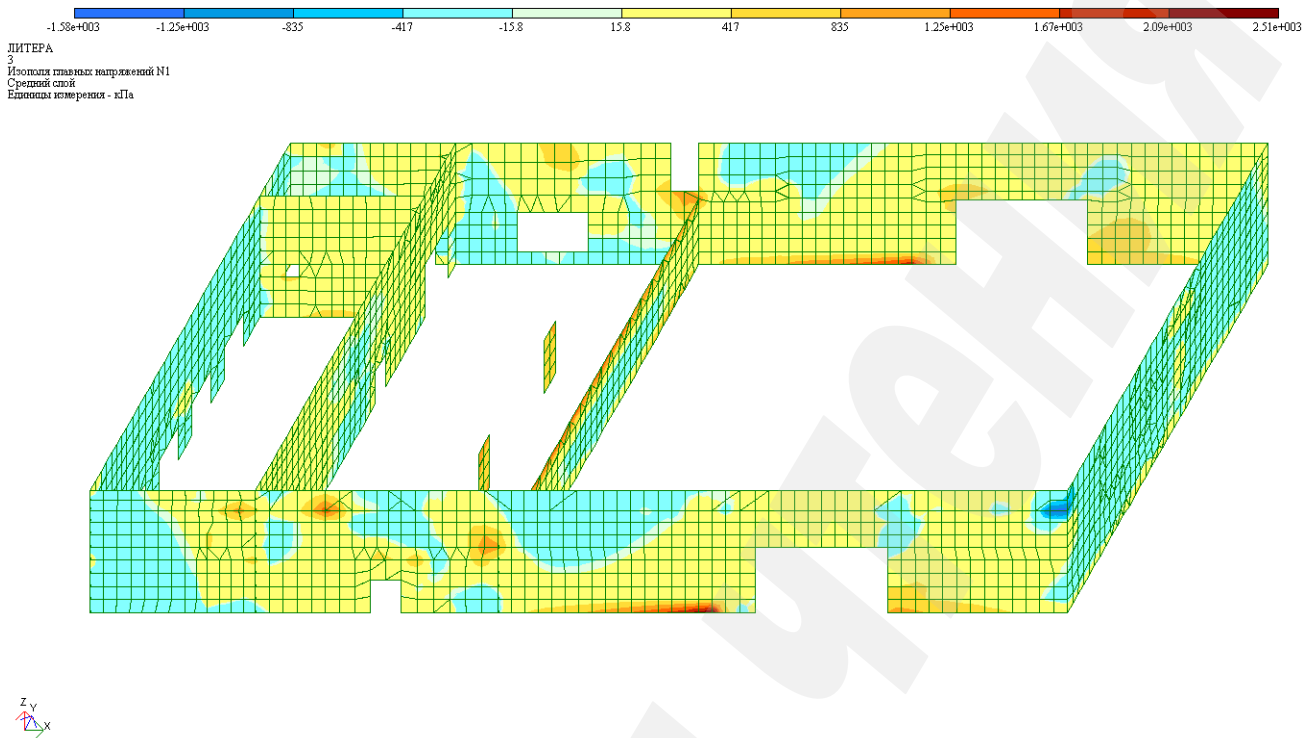


Рис. 2. Розподіл головних напружень N_1 в стінах першого поверху

Таким чином, на основі проведеного комплексу досліджень визначено напружено-деформований і технічний стан конструкцій будівлі та розроблено заходи щодо відновлення конструкцій.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Позитивним ефектом застосування запропонованої методики оцінки технічного стану як окремих конструкцій, так і будівель та споруд в цілому можна вважати можливість продовження терміну експлуатації або виконання підсилення або заміну конструкцій. Оскільки надійність і довговічність будівель в процесі зведення забезпечується шляхом використання якісних матеріалів, дотримання технології робіт і повної відповідності їх проекту. А більшість чинників, що впливають на довговічність будівель та споруд, носять випадковий характер, тож надійність і довговічність будівельних конструкцій визначаються законами теорії ймовірності.

Weaknesses. Слабкою стороною розробленої методики визначення технічного стану конструкцій є значна залежність результатів діагностики конструкцій і ґрунтів основи від застосованих приладів і конструктивних особливостей.

Необхідно виконувати регулярний моніторинг технічного стану будівельних конструкцій, будівель та споруд на різних етапах їхнього життєвого циклу: проектування, будівництва, експлуатації, консервування, розконсервації, ліквідації.

Opportunities. Прогноз зміни параметрів технічного стану дозволить прогнозувати поточні та капітальні ремонти конструкцій, виключити збитки від аварійного руйнування конструкцій. Тому що основою організації моніторингу із забезпечення експлуатаційної безпеки будівель та споруд є спостереження за

змiнами показників контрольованих параметрiв технiчного стану та оцiнювання визначених змiн. А кiлькiсть i види контрольованих параметрiв визначаються результатами попереднього обстеження, вимогами нормативної i проектної документацiї та умовами збереження експлуатацiйних властивостей об'єкта впродовж його життєвого циклу.

Запропонована методика визначення технiчного стану конструкцiй будiвель та споруд може бути застосована пiд час лiквiдацiї непроєктних впливiв на конструкцiї (стихiйнi лиха, техногеннi аварiї тощо).

Threats. Складнiсть впровадження результатiв дослiдження полягає у потребi значних капiталовкладень у пiдготовку персоналу та придбання сучасних приладiв та обладнання для дiагностики конструкцiй. В сучасних спецiалiзованих будiвельних випробувальних лабораторiях капiтальнi витрати можуть мiнiмiзуватись.

8. Висновки

1. Розроблено комплекс взаємозв'язаних заходiв щодо визначення параметрiв технiчного стану конструкцiй пiсля рiзних впливiв. Цей комплекс включає в себе наступнi процедури:

- аналіз технiчної документацiї;
- вiзуальне обстеження стану конструкцiй;
- iнструментальне обстеження стану конструкцiй;
- аналіз результатiв вiзуального й iнструментального обстеження;
- виконання перевiрочних розрахункiв (при необхідностi);
- оцiнку технiчного стану;
- висновки про можливiсть подальшої експлуатацiї та рекомендацiї щодо приведення конструкцiй в придатний для експлуатацiї стан;
- визначення залишкового ресурсу.

Цей комплекс дозволяє виконати як достовiрне оцiнювання поточного технiчного стану, так i прогнозувати змiни технiчного стану в часi, що дасть можливiсть попередити виникнення аварiй конструкцiй та пов'язаних з ними збиткiв. Подiбна обставина дозволить рацiонально використовувати кошти на виконання поточних i капiтальних ремонтiв та регулювати технiчний стан таким чином, щоб досягти найбiльшої ефективностi використання основних фондiв.

2. Запропонований комплекс заходiв дозволяє виконати аналіз конструктивної схеми будiвлi, встановити параметри та критерiї технiчного стану для розрахункiв напружено-деформованого стану i визначення технiчного стану конструкцiй, будинкiв та споруд в цiлому. На основi результатiв вiзуального обстеження встановлюються конструкцiї, якi мають дефекти та пошкодження, розробляється програма iнструментального обстеження. В цiй програмi вiдмiчаються конструкцiї, для яких необхідно встановити контрольованi параметри (геометричнi розмiри, прогини, перемiщення, характеристики мiцностi тощо).

3. В рамках розробленого комплексу виконується визначення геометричних параметрiв, прогинiв, перемiщень, характеристик мiцностi та жорсткостi елементiв будинкiв та споруд пiсля рiзних впливiв. Мiцнiсть

конструкцій будівель та споруд напряму залежить від міцності застосованих матеріалів (бетону, арматури), схеми розташування арматури в перерізі, а також від навантажень і впливів.

Відмінності визначення характеристик міцності матеріалу конструкцій враховуються шляхом введення в розрахунок коефіцієнтів надійності, які забезпечують нормальні умови експлуатації і гарантують конструкції від настання граничного стану. Як видно з наведених результатів лабораторних випробувань розчину в кладці будівлі, за міцністю на стиск розчин відповідає марці М25 (в приміщенні, де була пожежа) та марці М50 (в інших приміщеннях).

4. Розроблено методи розрахунку напружено-деформованого стану, оцінки технічного стану і можливості його регулювання для подальшої експлуатації конструкцій будівель після різних впливів. Для більшості конструкцій визначальним є питання міцності або розрахунку за першою групою граничних станів. На основі проведених досліджень встановлюються параметри та критерії напружено-деформованого і технічного стану реального об'єкту. Виконуються розрахунки напружено-деформованого стану конструкцій будівлі на основі математичної моделі системи «ОСНОВА-ФУНДАМЕНТ-БУДІВЛЯ». Просторову розрахункову модель, як єдину структурну систему, рекомендується складати з двох підструктур:

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

Використання єдиної структурної системи дозволяє виконати розрахунки з урахуванням даних, які отримано під час роботи.

Результати визначення внутрішніх зусиль в елементах і конструкціях дозволяють порівняти їх з критичними для конструкцій будівлі, зробити висновок про можливість подальшої експлуатації, необхідність розробки заходів щодо підсилення або заміни конструкцій.

Література

1. Семиног, М., Голоднов, О. (2009). Моделювання напружено-деформованого стану для обґрунтування можливості продовження терміну експлуатації будівельних конструкцій, будівель та споруд. *Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій ім. В. М. Шимановського*, 4, 243–249.
2. Семиног, М., Голоднов, О. (2011). Надійність експлуатації залізобетонних конструкцій після силових, деформаційних і високотемпературних впливів. *Будівельні конструкції*, 74 (2), 56–63.
3. Голоднов, О., Антошина, Т., Отрош, Ю. (2017). Про необхідність розрахунку будівель зі сталевим каркасом на температурні впливи. *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського*, 20, 65–84.
4. Abdel-Fttah, A., Said, M., Salah, A. (2016). Nonlinear finite element analysis for reinforced concrete slabs under punching loads. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 7 (3), 392–397.

5. Balomenos, G. P., Genikomsou, A. S., Polak, M. A., Pandey, M. D. (2015). Efficient method for probabilistic finite element analysis with application to reinforced concrete slabs. *Engineering Structures*, 103, 85–101. doi: <http://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.08.038>
6. Fraile-Garcia, E., Ferreiro-Cabello, J., Martinez-Camara, E., Jimenez Macias, E. (2016). Frail Optimization based on life cycle analysis for reinforced concrete structures with one-way slabs. *Engineering Structures*, 109, 126–138. doi: <http://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.12.001>
7. Kwan, A. K. H., Ma, F. J. (2016). Crack width analysis of reinforced concrete under direct tension by finite element method and crack queuing algorithm. *Engineering Structures*, 126, 618–627. doi: <http://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.08.027>
8. Lantsoght, E. O. L., van der Veen, C., Walraven, J., de Boer, A. (2015). Experimental investigation on shear capacity of reinforced concrete slabs with plain bars and slabs on elastomeric bearings. *Engineering Structures*, 103, 1–14. doi: <http://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.08.028>
9. Einpaul, J., Ospina, C. E., Fernández Ruiz, M., Muttoni, A. (2016). Punching shear capacity of continuous slabs. *ACI Structural Journal*, 113 (4), 861–872. doi: <http://doi.org/10.14359/51688758>
10. Smolka, J., Slupik, L., Fic, A., Nowak, A. J., Kosyrczyk, L. (2015). CFD analysis of the thermal behaviour of heating walls in a coke oven battery. *International Journal of Thermal Sciences*, 104, 186–193. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2016.01.010>
11. Caldas, R. B., Fakury, R. H., Sousa Jr., João Batista M. (2014). Finite element implementation for the analysis of 3D steel and composite frames subjected to fire. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 11 (1), 1–18. doi: <http://doi.org/10.1590/s1679-78252014000100001>
12. Vatulia, G., Orel, E., Kovalov, M. (2014). Evaluation of steel-concrete beams fire resistance with the selection of effective fire protection. *Proceedings of the 6th International Conference on Dynamics of Civil Engineering and Transport Structures and Wind Engineering, Zilina*, 327–331.
13. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану (2017). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 45.
14. ДБН В. 2.6-98:2009. Державні будівельні норми України. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення (2011). Київ: Мінрегіонбуд України, 71.