

УДК 69.059.22:699.8

DOI: 10.15587/2312-8372.2019.181523

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД ПІСЛЯ РІЗНИХ ВПЛИВІВ

Гордіюк М. П., Семиног М. М., Голоднов О. І., Ткачук І. А., Іванов Б. В.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Гордиук Н. П., Семиног Н. Н., Голоднов А. И., Ткачук И. А., Иванов Б. В.

DETERMINATION OF REMAINING RESOURCE OF CONSTRUCTIONS OF BUILDINGS AFTER DIFFERENT INFLUENCES

Gordiuk M., Semynoh M., Holodnov O., Tkachuk I., Ivanov B.

Об'єктом дослідження є залишковий ресурс конструкцій будівель та споруд після різних впливів. Залишковим ресурсом називається сумарне напрацювання об'єкту від моменту контролю його технічного стану до переходу в граничний стан.

Методики розрахунку, які рекомендовано чинними нормативними документами України, не дозволяють прогнозувати імовірність відмов, збільшення кількості дефектів і деформацій конструкцій в часі та реально оцінити можливість подальшої експлуатації за таких умов. Одним з найбільш проблемних місць є визначення технічного стану конструкцій будівель та споруд, які працюють при різних впливах (в агресивному середовищі, при вимушених зміщеннях опор, можливих високотемпературних впливах тощо).

Показано, що залишковий ресурс конструкцій будівель та споруд, які отримали пошкодження під час експлуатації після різних впливів, може бути перепризначеним за рахунок підсилення. При цьому основним питанням залишається визначення фізико-механічних характеристик матеріалів, які було застосовано при виготовленні конструкцій, а також виконання розрахунку конструкцій для обґрунтованого призначення перерізів елементів підсилення. Характеристики матеріалів визначаються під час проведення обстежень. В ході обстеження використовуються різні методи визначення фізико-механічних характеристик матеріалів конструкцій (бетону, арматури, сталі, цегляної кладки тощо), як правило, руйнівні. Руйнівні методи можливо застосовувати в тих випадках, коли це можливо за умов роботи конструкцій, наприклад, вилучення фрагментів металу, арматури або бетону з малонавантажених елементів.

Можливість перепризначення залишкового ресурсу визначається шляхом зіставлення величин несучої здатності конструкцій з тими величинами, що діють. Несучу здатність конструкцій визначають з використанням величин

характеристик матеріалів і параметрів (розмірів поперечних перерізів, геометричних розмірів з урахуванням корозійного зносу тощо), які було отримано під час проведення обстеження. Величини зусиль, що діють в конструкціях будівель та споруд, визначаються шляхом моделювання їхньої роботи з використанням методу скінченних елементів і сучасних обчислювальних комплексів. Завдяки такій процедурі можна отримати зусилля, які могли б виникнути в конструкціях будівлі та підсилення. Завдяки цьому забезпечується можливість прийняття рішення про перепризначення залишкового ресурсу конструкції, тобто можливість подальшої експлуатації, необхідність підсилення або заміни.

Ключові слова: конструкції будівель та споруд, дефекти та пошкодження, обстеження, розрахунок конструкцій, залишковий ресурс.

Объектом исследования является остаточный ресурс конструкций зданий и сооружений после различных воздействий. Остаточным ресурсом называется суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

Методики расчета, которые рекомендованы действующими нормативными документами Украины, не позволяют прогнозировать вероятность отказов, увеличения количества дефектов и деформаций конструкций во времени и реально оценить возможность дальнейшей эксплуатации при таких условиях. Одним из наиболее проблемных мест является определение технического состояния конструкций зданий и сооружений, которые работают при различных воздействиях (в агрессивной среде, при вынужденных смещениях опор, возможных высокотемпературных воздействиях и т. п.).

Показано, что остаточный ресурс конструкций зданий и сооружений, которые получили повреждение во время эксплуатации после различных воздействий, может быть переназначенным за счет усиления. При этом основным вопросом остается определение физико-механических характеристик материалов, которые были применены при изготовлении конструкций, а также выполнения расчета конструкций для обоснованного назначения сечений элементов усиления. Характеристики материалов определяются во время проведения обследований. В ходе обследования используют разные методы определения физико-механических характеристик материалов конструкций (бетона, арматуры, стали, кирпичной кладки и т. п.), как правило, неразрушающие. Разрушающие методы возможно применять в тех случаях, когда это возможно при условиях работы конструкций, например, изъятие фрагментов металла, арматуры или бетона из малонагруженных элементов.

Возможность переназначения остаточного ресурса определяется путем сопоставления величин несущей способности конструкций с теми величинами, которые действуют. Несущую способность конструкций определяют с использованием величин характеристик материалов и параметров (размеров поперечных сечений, геометрических размеров с учетом коррозионного износа

и т. п.), которые были получены в ходе проведения обследования. Величины усилий, которые действуют в конструкциях зданий и сооружений, определяются путем моделирования их работы с использованием метода конечных элементов и современных вычислительных комплексов. Благодаря такой процедуре можно получить усилия, которые могли бы возникнуть в конструкциях здания и усиления. Благодаря этому обеспечивается возможность принятия решения о переназначении остаточного ресурса конструкций, то есть о возможности дальнейшей эксплуатации, необходимости усиления или замены.

Ключевые слова: конструкции зданий и сооружений, дефекты и повреждения, обследование, расчет конструкций, остаточный ресурс.

1. Вступ

Разом з новим будівництвом все частіше виникає необхідність в проведенні робіт по відновленню експлуатаційної придатності будівельних конструкцій будівель та споруд. При цьому необхідно вирішувати питання, пов'язані з визначенням напружено-деформованого стану (НДС) і виконанням робіт із продовження терміну експлуатації споруд.

Вказані роботи необхідно вирішувати в комплексі, тобто прогнозу можливого продовження терміну експлуатації конструкцій будівель та споруд повинні передувати роботи, пов'язані з оцінкою їхнього технічного стану. Ці роботи виконуються відповідно до вимог чинних нормативних документів [1–3].

Оцінка технічного стану виконується на підставі результатів раніше виконаних і поточних обстежень, перевірочних розрахунків тощо. Перевірочні розрахунки виконуються, як правило, із застосуванням спрощених розрахункових схем без урахування фактичного стану конструкцій і прогнозу деградації властивостей матеріалів. Такий підхід не дозволяє моделювати НДС споруд в динаміці розвитку процесів деградації та не дає можливості прийняти правильне рішення про склад заходів, що забезпечують подальшу надійну та безпечну експлуатацію конструкцій [4, 5].

Робота є одним з етапів досліджень з проблеми продовження терміну експлуатації будівельних конструкцій будівель та споруд за умови дії як силових, так і інших (корозійних, термічних, деформаційних тощо) впливів.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є залишковий ресурс конструкцій будівель та споруд після різних впливів. Залишковим ресурсом називається сумарне напрацювання об'єкту від моменту контролю його технічного стану до переходу в граничний стан.

Для будівельних конструкцій встановлюється єдина класифікація (номенклатура) можливих технічних станів, кількість яких прийнята чотири відповідно до [1].

Конструкції й елементи з самого початку своєї експлуатації 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 й елемент, є завданням комплексу робіт з оцінки їхніх технічних станів.

Елементи конструкції або споруди можуть опинитися в різних станах. В цьому випадку стан конструкції або споруди в цілому приймається по гіршому стану у відповідності до [1].

Визначення поточного технічного стану разом з прогнозом його зміни в часі неможливо виконати без попередніх обстежень.

Загальний моніторинг технічного стану будівель і споруд являє собою систему планових, безперервних або періодичних спостережень і контролю. Ці заходи проводяться за спеціально розробленою програмою для визначення змін у технічному стані будівель і споруд та оцінки їх з метою недопущення граничних значень контрольованих параметрів. Під цим терміном маються на увазі максимальні (мінімальні) значення контрольованих параметрів, які використовуються для настроювання системи моніторингу та призначені для оцінювання змін стану несучих конструкцій об'єкта [2].

Настанова 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.1.2-14-2018 [3]. Настанова встановлює загальні вимоги до проведення моніторингу технічного стану конструктивних елементів, будівель та інженерних споруд.

Настанова ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 [2] визначає контрольовані параметри різних видів моніторингу технічного стану будівельних конструкцій, будівель і споруд на різних етапах їх життєвого циклу: проектування, будівництва, експлуатації, консервування, розконсервації, ліквідації.

Настанова ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 [2] не замінює обов'язковості виконання учасниками будівельного процесу вимог із забезпечення якості виконання будівельних робіт, надійності та безпеки будівель та споруд, які передбачені проектною документацією.

Основою організації моніторингу із забезпечення експлуатаційної безпеки будівель та споруд є спостереження за змінами показників параметрів стану та оцінювання визначених змін.

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

Достовірність отриманих результатів має бути забезпечена застосуванням нормованих методів проведення досліджень і визначення контрольованих параметрів, відповідних приладів, устаткування та засобів вимірювальної техніки.

Як критерії відмов і пошкоджень повинні бути розглянуті граничні величини параметрів технічного стану (наявність або відсутність тріщин, ширина розкриття тріщин, прогини, переміщення, характеристики міцності та деформативності матеріалів конструкцій тощо), які зазвичай встановлюються проектною або нормативною документацією.

На основі встановлених ознак з використанням прогнозованої зміни їх в часі встановлюються критерії вичерпання несучої здатності конструкцій з вказівкою наслідків такого виду відмови, а також визначається залишковий ресурс.

3. Мета та задачі дослідження

Мета роботи полягає в розробці взаємозв'язаних заходів щодо визначення контрольованих параметрів залізобетонних і сталевих конструкцій, які отримано в ході проведеного моніторингу, для визначення їхнього технічного стану та залишкового ресурсу.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Розробити загальні вимоги до проведення моніторингу технічного стану конструктивних елементів, будівель та споруд.
2. Розробити методи розрахунку напружено-деформованого стану й оцінки технічного стану конструкцій, які отримали дефекти та пошкодження за час експлуатації.
3. Розробити методи визначення залишкового ресурсу конструкцій будівель та споруд на основі результатів моніторингу.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

В загальному вигляді моніторинг будівельних об'єктів являє собою систему спостережень їхнього технічного стану, отримання і передачу інформації службам, які відповідають за безпеку об'єктів. Він є самостійним елементом науково-технічного супроводу об'єктів в процесі їхнього будівництва й експлуатації, що забезпечує надійність будівельних об'єктів та дозволяє прогнозувати їхню довговічність [2, 6].

Показниками моніторингу являються величини статичних і динамічних характеристик конструкцій об'єкта, а сам моніторинг здійснюється за спеціально розробленими програмами. В терміновому відношенні він є постійно діючим або періодичним, що виконується відповідно до вимог чинних нормативних документів за наступних обставин [3, 7]:

- закінченні нормативного терміну експлуатації об'єкта;
- виявленні значних пошкоджень об'єкта, які виникли під час його експлуатації;
- оцінці можливості використання об'єкта за основним призначенням після техногенних і особливих впливів (агресивного середовища, високих температур тощо);
- зміні призначення споруди;
- за вимогою органів державного будівельного контролю.

Особливо важливим є об'єктивність і оперативність моніторингу, можливість оцінювати за його допомогою поточний технічний стан об'єктів і прогнозувати їх довговічність, виключати при цьому можливість переходу об'єктів в аварійний стан.

Важливими в практичному відношенні можна вважати економічність моніторингу, потрібний рівень професіоналізму обслуговуючого персоналу, доступність отримання інформації користувачами тощо.

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

- врахування температурних впливів [8, 9];
- врахування геометричної нелінійності та нелінійної роботи конструкцій [10, 11], що дозволяє здійснювати побудову адекватних розрахункових схем, знижувати матеріаломісткість, забезпечувати конструктивну безпеку, стійкість від прогресуючого обвалення;
- врахування при розрахунках плит двох варіантів скінчених елементів (СЕ) для моделювання елементів сталезалізобетонного перекриття [12, 13], що дозволило визначити прогини та переміщення конструкцій.

В роботі [14] наведено методичку теплотехнічного розрахунку залізобетонних конструкцій і втрат тепла фундаментної плити при нерівномірних температурних розподілах внутрішньої температури. Визначення же міцності та деформативності сталезалізобетонних балок з різними анкерними упорами та типами вогнезахисту при тристоронньому нагріві показано в [15, 16].

Всі наведені вище роботи, окрім робіт [4, 5], дозволяють вирішувати частинні випадки розрахунку конструкцій. Методики визначення технічного стану та залишкового ресурсу конструкцій після різних впливів в доступній авторам літературі відсутні, що обумовлює перспективність проведеного дослідження.

5. Методи досліджень

Параметри впливів та їхні величини визначають згідно з вимогами чинних нормативних документів [2, 3] за даними спостережень метеорологічних станцій; за паспортами на обладнання та іншими документами. Отримані величини параметрів використовуються в розрахунках і проектуванні об'єкта, а також є базовими для контролювання його технічного стану в періоди зведення та експлуатації.

Реакції змін 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 в 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 за допомогою технічних засобів неруйнівного контролю та встановленої в програмі періодичності. Періодичність проведення робіт визначається з урахуванням класів відповідальності будівельних конструкцій згідно з ДБН В.1.2-14-2018 [3]. При цьому мінімальна періодичність спостережень встановлюється відповідно до проектної і нормативної документації або спеціальних вимог до конкретного об'єкта.

Результатами моніторингу є інформація про стан об'єкта та території

забудови, що наводиться у проміжних та заключних звітах. Звіти оформляються на підставі реєстрації, накопичення та первинного аналізу інформації від чутливих елементів, які встановлюють на будівельних конструкціях, що підлягають контролю. Вимоги до складу звітів встановлюються в робочій програмі моніторингу. За результатами моніторингових спостережень у складі звіту наводиться висновок про поточні значення контрольованих параметрів будівельних конструкцій. Результати моніторингу використовуються при оцінці технічного стану будівельних конструкцій, будівель та споруд. Кінцевим результатом оцінки технічного стану будівельних конструкцій є висновок про можливість (неможливість) подальшої експлуатації будівель та споруд у штатному режимі.

Постійний контроль технічного стану будівель та споруд з використанням автоматизованих систем організовується на відповідальних за критеріями безпеки конструкціях. При цьому використовуються прилади і обладнання з автоматичним зберіганням, обробленням і передачею результатів вимірювань по інформаційних каналах зв'язку.

Граничні значення параметрів оцінюються за критеріями стану елементів будівель і споруд, що визначають, за яких умов настає неможливість виконання ними своїх функцій за технічними причинами, до яких можна віднести небезпеку руйнування окремих елементів, втрату загальної стійкості тощо.

Оцінювання параметрів технічного стану за їхніми граничними критеріями використовуються для прийняття рішень про:

- забезпечення безпеки людей;
- переведення об'єкта в режим аварійної експлуатації, виконання 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 аналогу в інформаційній системі) для оперативного попереднього прогнозування значень контрольованих параметрів будівельних конструкцій на найближчий час);
- системи налаштування й управління інформаційною системою моніторингу будівельних конструкцій.

Інформаційна система в реальному часі забезпечує збір, накопичення, доступ, відображення та розповсюдження даних про значення показників контрольованих параметрів будівельних конструкцій будівель та споруд.

6. Результати дослідження

Математична модель будівлі (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 межу заданого критерію є основою для прийняття рішень щодо можливості подальшої експлуатації будівлі або споруди [2].

Основою оцінки технічного стану будівель і споруд є інформація про знаходження контрольованих параметрів у заданому діапазоні безпечної експлуатації. Граничні критерії вимірювань датчиків, що відповідають безпечній експлуатації будівельних конструкцій, встановлюються в Програмі моніторингу.

Визначення залишкового ресурсу конструкцій будівель та споруд виконується на основі отриманих в результаті моніторингу даних. За результатами аналізу технічної документації, візуального й інструментального обстеження виконується попередня оцінка технічного стану конструкцій, будівель та споруд в цілому та робиться висновок про необхідність проведення математичного моделювання НДС або спрощених розрахунків конструкцій [5]. Попередня оцінка технічного стану проводиться на основі критеріїв оцінки. Прогноз зміни технічного стану при подальшій експлуатації виконується на основі аналізу деградаційних процесів і виявлення відповідності фактичних параметрів технічного стану вимогам проектної та нормативної документації.

Технічний стан конструкцій за відсутності дефектів може вважатися нормальним або задовільним, якщо не виконуються [4, 5]:

– умова відмови конструкцій (умова досягнення конструкцією граничних станів першої групи):

$$F > F_u, \quad (1)$$

де F , F_u – величини відповідно найбільш можливого за час експлуатації зусилля в елементі від розрахункових навантажень і найменшої несучої здатності;

– умова досягнення конструкцією граничних станів другої групи:

$$f > f_u, \quad (2)$$

де f , f_u – характерне переміщення конструкції (прогин, кут повороту, крен тощо), які визначено відповідно в результаті розрахунку або обстеження та граничне, встановлене нормами.

Як параметри граничних станів другої групи, досягнення яких розглядається як відмова-перешкода, розглядаються надмірне або тривале розкриття тріщин в залізобетонних конструкціях, а також досягнення граничних величин прогинів.

Граничні стани цієї групи викликають тимчасове припинення або часткове порушення умов нормальної експлуатації, але разом з тим чітка межа переходу в граничний стан відсутня.

Функції визначення несучої здатності приймаються згідно вимог чинних нормативних документів. Допускається застосовувати прямі обмеження наступного типу на зміну конструктивних, міцнісних або інших визначальних параметрів:

$$\delta_{\min} \leq \delta, \quad (3)$$

$$R_{\min} \leq R, \quad (4)$$

де δ_{\min} – мінімально допустима величина параметра перетину залізобетонного елемента (висота, ширина, площа арматури тощо); δ – дійсна величина параметра перетину; R_{\min} – мінімально допустимий розрахунковий опір матеріалу (бетону, арматури); R – дійсний розрахунковий опір матеріалу.

Оцінка технічного стану проводиться зіставленням контрольованих параметрів з відповідними проектними параметрами або визначеними в результаті обстежень і розрахунків. Конструкції можуть перейти в граничний стан, якщо досягли граничних величин такі параметри, як:

- геометричні розміри (зменшення внаслідок корозійного зносу арматури, бетону, сталевого прокату);
- міцність бетону;
- встановлена арматура не відповідає проекту, а вузли сполучення, закладні деталі й елементи кріплення зруйновано або пошкоджено.

Мінімально допустимі величини контрольованих (визначальних) параметрів у формулах (3) і (4) встановлюють за наслідками розрахунків будівельних конструкцій відомими методами будівельної механіки й опору матеріалів для визначення несучої здатності та порівняння її з максимальним діючим зусиллям:

$$F_{cr}[x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)] > F, \quad (5)$$

де $F_{cr}[x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)]$ – функція несучої здатності; F – визначається за результатами спрощених розрахунків або математичного моделювання НДС конструкцій і будівлі в цілому.

Як параметри $x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)$ приймаються розміри поперечного перерізу, міцність матеріалів, в т. ч. і як функції часу, деформації ґрунтової основи тощо. Визначення величини діючого зусилля F для статично визначених конструкцій не являє ускладнень з принципової точки зору. Для статично невизначених конструкцій величина F визначається за наслідками математичного моделювання НДС, встановленого за результатами обстеження.

Перехід нерівності (5) в рівняння свідчить про вичерпання несучої здатності (ресурсу) конструкції. Подальша експлуатація можлива після проведення робіт із підсилення (заміни) або ремонту.

Розрахунок залишкового ресурсу виконується в такій послідовності [4, 5]:

1. Виконується обстеження конструкцій і встановлюються контрольовані параметри: розміри поперечного перетину, характеристики міцності матеріалів, уточнюються величина та характер навантажень і впливів.

2. Визначається несуча здатність конструкції за даними проведених обстежень $F_{cr}[x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)]$. За наслідками розрахунку встановлюються максимальні зусилля F . Порівнюються:

$$F_{cr} \geq F. \quad (6)$$

Якщо нерівність виконується, несуча здатність не вичерпана.

3. Визначають залишковий ресурс t_R з використанням допущення щодо лінійної залежності зміни контрольованих параметрів від часу:

$$t_R = \Delta t \cdot \frac{F_{cr} - F}{F_{pr} - F_{cr}}; \quad (7)$$

$$\Delta t = t_1 - t_0, \quad (8)$$

де t_0 – дата початку експлуатації конструкції (після виготовлення, підсилення або заміни) або попереднього обстеження, рік; t_1 – дата виконання обстеження та встановлення змін контрольованих параметрів, рік; F_{pr} – несуча здатність елемента, яка визначена за проектними даними.

Визначення залишкового ресурсу доцільно виконувати по можливості на більшій базі (8). Точніше рішення щодо величини ресурсу може бути отримане за умови наявності результатів регулярних спостережень і визначень контрольованих параметрів і технічного стану.

Якщо нерівність (6) не виконується, елемент знаходиться в стані, не придатному для експлуатації, або аварійному.

При наявності нерівномірних осідань основи, а також при високотемпературних впливах доцільним буде виконання математичного моделювання, встановленого за результатами проведеного обстеження НДС конструкцій і будівлі в цілому.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Позитивним ефектом застосування запропонованої методики визначення залишкового ресурсу окремих конструкцій, будівель та споруд в цілому можна вважати можливість продовження терміну експлуатації або виконання підсилення або заміну конструкцій. Надійність і довговічність будівель в процесі зведення має забезпечуватись шляхом використання якісних

матеріалів, дотриманням технології робіт і повної відповідності їх проекту. Зміна контрольованих параметрів під впливом різних чинників за час експлуатації може призвести до відмови конструкцій. Оскільки більшість чинників, що впливають на довговічність будівель та споруд, носять випадковий характер, то ж і надійність і довговічність будівельних конструкцій визначаються законами теорії ймовірності.

Weaknesses. Слабкою стороною розробленої методики визначення технічного стану і залишкового ресурсу конструкцій є значна залежність результатів постійного моніторингу, 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 і залишкового ресурсу дозволить прогнозувати поточні та капітальні ремонти конструкцій, виключити збитки від аварійного руйнування конструкцій. Основою організації моніторингу із забезпечення експлуатаційної безпеки будівель та споруд є спостереження за змінами показників контрольованих параметрів технічного стану та оцінювання визначених змін. Кількість і види контрольованих параметрів визначаються програмою моніторингу, вимогами нормативної і проектної документації та умовами збереження експлуатаційних властивостей об'єкта впродовж його життєвого циклу.

Запропонована методика визначення технічного стану і залишкового ресурсу конструкцій будівель та споруд може бути застосована також і під час ліквідації неprojektних впливів на конструкції (стихійні лиха, техногенні аварії тощо).

Threats. Складність впровадження результатів дослідження полягає у потребі значних капіталовкладень у розробку програми моніторингу, підготовку персоналу та придбання сучасних приладів та обладнання для діагностики конструкцій. В сучасних спеціалізованих будівельних випробувальних лабораторіях капітальні витрати можуть мінімізуватись.

8. Висновки

1. Розроблено загальні вимоги до проведення моніторингу технічного стану конструктивних елементів, будівель та споруд. В загальному вигляді моніторинг будівельних об'єктів являє собою систему спостережень їхнього технічного стану, отримання і передачу інформації службам, які відповідають за безпеку об'єктів. Він є самостійним елементом науково-технічного супроводу об'єктів в процесі їхнього будівництва й експлуатації, що забезпечує надійність будівельних об'єктів та дозволяє прогнозувати їхню довговічність.

Основою організації моніторингу із забезпечення експлуатаційної безпеки будівель та споруд є спостереження за змінами показників параметрів стану та оцінювання визначених змін. Кількість і види контрольованих параметрів визначаються результатами попереднього обстеження, вимогами нормативної

та проектної документації, умовами збереження експлуатаційних властивостей об'єкта впродовж його життєвого циклу.

Реакції змін 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 в 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.

Постійний контроль технічного стану будівель та споруд з використанням автоматизованих систем організовується на відповідальних за критеріями безпеки конструкціях і будівлях. При цьому використовуються прилади і обладнання з автоматичним зберіганням, обробленням і передачею результатів вимірювань по інформаційних каналах зв'язку.

Достовірність отриманих результатів має бути забезпечена застосуванням нормованих методів проведення досліджень і визначення контрольованих параметрів, відповідних приладів, устаткування та засобів вимірювальної техніки.

Як критерії відмов і пошкоджень повинні бути розглянуті граничні величини параметрів технічного стану (наявність або відсутність тріщин, ширина розкриття тріщин, прогини, переміщення, характеристики міцності та деформативності матеріалів конструкцій тощо), які зазвичай встановлюються проектною або нормативною документацією.

2. Розроблено методи розрахунку напружено-деформованого стану і оцінки технічного стану конструкцій, які отримали дефекти та пошкодження за час експлуатації. Міцність конструкцій будівель та споруд напряму залежить від міцності застосованих матеріалів (бетону, арматури), схеми розташування арматури в перерізі, а також від навантажень і впливів.

Математична модель будівлі (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 межу заданого критерію є основою для прийняття рішень щодо можливості подальшої експлуатації будівлі або споруди.

3. Розроблено методи визначення залишкового ресурсу конструкцій будівель та споруд на основі результатів моніторингу.

Визначення залишкового ресурсу конструкцій будівель та споруд виконується на основі отриманих в результаті моніторингу даних. За результатами аналізу технічної документації, візуального й інструментального обстеження виконується попередня оцінка технічного стану конструкцій, будівель та споруд в цілому та робиться висновок про необхідність проведення математичного моделювання НДС або спрощених розрахунків конструкцій.

Попередня оцінка технічного стану проводиться на основі критеріїв оцінки. Прогноз зміни технічного стану при подальшій експлуатації виконується на основі аналізу деградаційних процесів і виявлення відповідності фактичних параметрів технічного стану вимогам проектної та нормативної документації.

Наведено методику розрахунку залишкового ресурсу конструкцій будівель та споруд на основі даних, які отримано під час моніторингу.

Література

1. 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.
2. ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016. *Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд.* (2017). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 38.
3. ДБН В.1.2-14:2018. *Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ.* (2018). Київ: Мінрегіон України, 30.
4. Голоднов, А. Гордиюк, Н., Ткачук, И., Семиног, М. (2015). Определение остаточного ресурса изгибаемых элементов после различных воздействий. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту, 151*, 94–102.
5. Отрош, Ю., Иванов, А., Голоднов О. (2011). Комплекс взаємозв'язаних заходів щодо визначення параметрів напружено-деформованого і технічного стану конструкцій при різних впливах. *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського, 8*, 98–109.
6. Larocca, A. P. C. (2014). Dynamic Monitoring vertical Deflection of Small Concrete Bridge Using Conventional Sensors And 100 Hz GPS Receivers – Preliminary Results. *IOSR Journal of Engineering, 4* (9), 9–20. doi: <http://doi.org/10.9790/3021-04920920>
7. Gaidaichuk, V., Kotenko, K., Kedyk, I. (2018). Development of theoretical and experimental dynamic monitoring of large-scale building structure. *Technology Audit and Production Reserves, 1* (2 (39)), 38–45. doi: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.123463>
8. Wendner, R., Hubler, M. H., Bažant, Z. P. (2015). Statistical justification of model B4 for multi-decade concrete creep using laboratory and bridge databases and comparisons to other models. *Materials and Structures, 48* (4), 815–833. doi: <http://doi.org/10.1617/s11527-014-0486-1>
9. 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.
10. Hubler, M. H., Wendner, R., Bažant, Z. P. (2015). Statistical justification of Model B4 for drying and autogenous shrinkage of concrete and comparisons to other models. *Materials and Structures, 48* (4), 797–814. doi: <http://doi.org/10.1617/s11527-014-0516-z>

11. 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>
12. Fraile-Garcia, E., Ferreiro-Cabello, J., Martinez-Camara, E., Jimenez-Macias, E. (2016). 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>
13. 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>
14. 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>
15. Caldas, R. B., Fakury, R. H., Sousa Jr., J. B. 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>
16. 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.

The object of research is the residual resource of the structures of buildings and structures after various influences. The residual resource is the total operating time of the object from the moment of monitoring its technical condition to the transition to the limit state.

The calculation methods recommended by the current regulatory documents of Ukraine do not allow predicting the probability of failures, an increase in the number of structural defects and deformations over time and really assessing the possibility of further operation in such conditions. One of the most problematic places is determination of the technical condition of structures of buildings and structures operating under various influences (in an aggressive environment, with forced displacements of supports, possible high-temperature influences, etc.).

It is shown that the residual life of the structures of buildings and structures that suffered damage during operation after various influences can be reassigned due to reinforcement. In this case, the main question remains the determination of the physical and mechanical characteristics of the materials that were used in the manufacture of structures, as well as the calculation of structures for the justified purpose of the cross sections of reinforcing elements. Characteristics of materials are determined during the observation. During the observation, various methods were used to determine the physical and mechanical characteristics of structural materials (concrete, reinforcement, steel, brickwork, etc.), which are usually non-destructive. Non-destructive methods can be applied in cases where this is possible under the

conditions of operation of structures, for example, the removal of fragments of metal, reinforcement or concrete from lightly loaded elements.

The possibility of reassigning the residual resource is determined by comparing the values of the bearing capacity of the structures with acting values. The bearing capacity of the structures is determined using the values of the characteristics of materials and parameters (cross-sectional dimensions, geometric dimensions taking into account corrosion wear, etc.), which were obtained during the observation. The magnitudes of the forces acting in the structures of buildings and structures are determined by modeling their work using the finite element method and modern computing systems. Thanks to this procedure, it is possible to obtain the efforts that could arise in the structures of the building and reinforcement. Thanks to this, it is possible to make a decision on the reassignment of the remaining life of the structures, that is, the possibility of further operation, the need for reinforcement or replacement.

Keywords: *structures of buildings and structures, defects and damages, inspection, structural analysis, residual life.*