

УДК 614.841.45

## **Особливості розрахунку безкаркасних будівель за умов силових, деформаційних та високотемпературних впливів**

**Голоднов О. І., д-р техн. наук, Семиног М. М.**

Український інститут сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського, Україна

**Анотація.** Об'єктом дослідження є технічний стан і несна здатність залізобетонних конструкцій будівель та споруд після силових і високотемпературних впливів. Методики розрахунку, які рекомендовано чинними нормативними документами України, не завжди дозволяють правильно прогнозувати зростання деформацій конструкцій та оцінювати реальний запас несної здатності. Одним з найбільш проблемних місць є розрахунок конструкцій, які працюють за умов вимушених зміщень опор та/або можливих високотемпературних впливів. Положення посилюється ще й тим, що розрахунки ведуться, як правило, із застосуванням недеформованих схем. Підсилення конструкцій будівель, які отримали пошкодження після різних впливів, виконується, як правило, з використанням металевих елементів. У цьому разі основним залишається виконання розрахунку конструкцій для обґрунтованого призначення перерізів елементів підсилення. В ході дослідження використовувалися різні методи, в першу чергу, моделювання роботи конструкцій з використанням методу скінченних елементів і сучасних обчислювальних комплексів. Це пов'язано з тією обставиною, що запропонований метод вирішення задачі має ряд особливостей, зокрема, дозволяє визначити розподіл зусиль в елементах будівлі після зміни характеристик жорсткості або введення в розрахункову схему додаткових стрижневих елементів. В ході вирішення задачі моделюється поява і розвиток тріщин шляхом зміни характеристик жорсткості елементів. Отримано зусилля, які могли б виникнути в елементах будівлі та підсилення. Завдяки цьому забезпечується можливість прийняття рішення про можливість подальшої експлуатації, підсилення або заміни конструкцій. Зміна умов закріплення розглядається як дії з боку основи. У порівнянні з аналогічними відомими методами розрахунку такий підхід забезпечує можливість прогнозуванні зміни технічного стану в часі, тобто врахування зміни умов закріплення та характеристик матеріалів конструкцій будівлі дозволить більш обґрунтовано підійти до оцінки напружено-деформованого стану і залишкового ресурсу конструкції або споруди в цілому.

**Ключові слова:** залізобетонні елементи будівель та споруд, прогини слабоармованих елементів, розрахунок конструкцій, залишковий ресурс.

### **1. Вступ**

Будівлі та споруди повинні проектуватися для прийняття всіх можливих навантажень і впливів для передачі їх на ґрунтову основу. Довговічність будівель та споруд в процесі зведення забезпечується використанням якісних матеріалів, дотриманням технології робіт і повної відповідності до проекту. В процесі експлуатації довговічність конструкцій під впливом різних чинників (непроектні навантаження, агресивне середовище, термічні впливи під час пожежі тощо) знижується. Більшість чинників впливу на довговічність носять випадковий характер, тому довговічність конструкцій будівель та споруд визначається законами теорії ймовірності [1, 2].

Реальні конструкції, матеріали та впливи відрізняються від розрахункових. Ці відмінності враховуються введенням в розрахунок коефіцієнтів надійності, які забезпечують нормальні умови експлуатації, тобто гарантують конструкції від настання граничного стану першої або другої групи, причому для більшості конструкцій визначальним залишається питання міцності або розрахунку за першою групою граничних станів.

Будівництво житлових і громадських будівель у країні до 50-х років минулого століття виконувалось, як правило, з дрібноштучних елементів із застосуванням перекриттів і покриттів по балках, в тому числі, дерев'яних. З 50-х років ХХ століття в Україні було поширено єдину для всього колишнього СРСР концепцію будівництва з переважним застосуванням залізобетонних конструкцій. Будівництво велось індустріальними методами із застосуванням типових проектних рішень будівель та споруд. Такі будинки експлуатуються і в наш час, хоча термін їх мінімальної експлуатації до постановки на капітальний ремонт перевищено практично в два та більше разів згідно з нормативним документом [3], який було прийнято ще за часів СРСР.

Зведення будівель та споруд різного призначення у Донбасі, Львівсько-Волинському вугільному басейні, Кривбасі часто виконується на майданчиках, що піддаються рано чи пізно підроблюванню, внаслідок чого відбуваються осідання та горизонтальні зміщення ґрунтів основи. Подібних впливів з боку основи зазнають також споруди, які побудовано на територіях із ґрунтами просідаючими, набрякливими, здимальними тощо, в умовах їх замочування [4, 5, 6]. Природно, що конструкції будівель для будівництва на таких територіях мають бути пристосовані до такого роду деформацій основи та здатні сприймати додаткові зусилля, які виникають за таких впливів.

З огляду на вищевикладене, до територій із СГУ відносять території, на яких протікання в ґрунтах деформаційних або динамічних процесів створює небезпеку пошкоджень або руйнувань будівель та споруд. Такі ґрунтові умови поширені практично на всій території України. Проте в нормативних документах загальних рекомендацій щодо будівництва в таких умовах немає, а також немає і повного переліку умов, які може бути віднесено до цієї категорії.

Реконструкцію об'єктів будь-якого призначення можна здійснити тільки на основі всебічного аналізу [2, 7, 8]. У цьому разі необхідно враховувати: реальний стан будівельних конструкцій; прогноз зміни силового навантаження, можливих (в тому числі, нерівномірних) осідань ґрунтової основи, високотемпературних впливів внаслідок пожежі; результати виконаних розрахунків конструкцій за розрахунковими схемами, що найповніше враховують специфіку їх деформації. Сучасні програмні комплекси (ПК) дозволяють виконувати розрахунки будь-яких конструкцій за наявності інформації про характеристики матеріалів.

Досвід експлуатації стінових панелей, інших залізобетонних і кам'яних конструкцій свідчить про достатній запас їх несної здатності за відсутності непередбачуваних силових, деформаційних і високотемпературних (далі – *різних*) впливів. Суттєвими причинами підвищеної небезпеки для конструкцій, що експлуатуються, за таких умов, розглядаються перерозподіл внутрішніх зусиль в елементах, нерівномірний нагрів і зміна характеристик міцності та деформованості під час та після пожежі тощо [9]. У зв'язку з цим виникає необхідність проведення робіт з обстеження, визначення та регулювання технічного стану для відновлення експлуатаційної придатності конструкцій з урахуванням прогнозу можливої зміни визначальних параметрів технічного стану та можливого руйнування конструкцій внаслідок різних впливів. У цьому разі потрібно вирішувати питання, пов'язані із забезпеченням тривалої та надійної експлуатації конструкцій за рахунок прийняття відповідних матеріалів або захисних заходів, а також визначення напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій за різних впливів і виконанням робіт із продовження терміну експлуатації як окремих конструкцій, так і будівель в цілому [2, 9].

## 2. Мета і завдання дослідження

Мета роботи полягає у розробленні взаємопов'язаних заходів щодо визначення параметрів технічного стану конструкцій безкаркасних будівель після силових, деформаційних та високотемпературних впливів, визначення можливості продовження терміну експлуатації або необхідності регулювання технічного стану шляхом ремонту, підсилення або заміни конструкцій.

Для досягнення цієї мети було поставлено такі завдання:

- узагальнити результати досліджень у сфері визначення НДС конструкцій безкаркасних будівель після силових, деформаційних і високотемпературних (надалі – *різних*) впливів, обґрунтувати необхідність проведення досліджень у цій сфері, сформулювати передумови та допущення;
- для конструкцій безкаркасних будівель розробити комплекс взаємопов'язаних заходів щодо визначення параметрів НДС і технічного стану конструкцій після різних впливів;
- встановити параметри та критерії технічного стану, які були б придатні для розрахунків НДС і визначення технічного стану конструкцій безкаркасних будівель;
- розробити методи визначення характеристик міцності та жорсткості елементів і конструкцій безкаркасних будівель після різних впливів;
- розробити методи розрахунку НДС, оцінювання технічного стану й можливості його регулювання для подальшої експлуатації конструкцій безкаркасних будівель після різних впливів;
- упровадити розроблені методи у вирішення практичних задач.

### **3. Вплив нерівномірних деформацій основи та високих температур на НДС і технічний стан залізобетонних конструкцій**

Залізобетонні елементи проектують та конструюють так, щоб у разі пожежі вони зберігали несну здатність протягом визначеного часу вогневого впливу [10, 11, 12]. Критерій деформації застосовують, якщо засоби вогнезахисту потребують врахування деформацій несних конструкцій.

Методика визначення технічного стану та залишкового ресурсу безкаркасних будівель після різних впливів включає виконання таких процедур [2, 9].

1. Розроблення комплексу взаємопов'язаних заходів із визначення параметрів технічного стану конструкцій після різних впливів.
2. Встановлення параметрів і критеріїв технічного стану, які були б придатні для розрахунків НДС і визначення технічного стану конструкцій будівель.
3. Розроблення методів визначення характеристик міцності та деформативності конструкцій після різних впливів.
4. Розроблення методів розрахунку НДС, оцінювання технічного стану та можливості його регулювання для подальшої експлуатації конструкцій і будівель в цілому.
5. Розроблення загальних вимог щодо проведення моніторингу технічного стану конструкційних елементів будівель.
6. Розроблення методів визначення залишкового ресурсу конструкцій безкаркасних будівель на основі результатів моніторингу.

Під час дослідження потрібно було використовувати такі наукові методи:

- методи обстеження будівельних конструкцій для визначення контрольованих параметрів із застосуванням сучасних методів і приладів;
- математичне моделювання НДС конструкцій будівель;
- методи будівельної механіки під час виконання розрахунків конструкцій будівель за різних впливів із подальшим оцінювання їхнього технічного стану.

Для оцінювання 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 результатами аналізу технічної документації, візуального й інструментального обстежень конструкцій приймається рішення щодо необхідності виконання перевірних розрахунків.

Як критерії для прийняття рішення про необхідність виконання перевірних розрахунків конструкцій і будівель в цілому розглядаються:

- наявність дефектів, що знижують несну здатність конструкцій;
- зниження характеристик міцності матеріалів порівняно з проектними (встановлюються шляхом обстеження конструкцій методами руйнівного та неруйнівного контролю);
- зменшення площі робочого перерізу елемента;
- перевищення фактичними експлуатаційними навантаженнями проектних значень;
- технологічні впливи, не передбачені проектом (в тому числі, вплив високої температури під час пожежі);
- розвиток нерівномірних деформацій основи.

В ході виконання перевірних розрахунків передбачається:

- математичне моделювання МСЕ з урахуванням встановленого деформованого стану;
- розрахунок конструкцій та визначення зусиль і деформацій в елементах розрахункової схеми;
- порівняння характеру деформації реального об'єкта й математичної моделі та уточнення характеристик жорсткості матеріалів елементів моделі;
- розрахунок уточненої моделі, визначення зусиль і переміщень;
- перевірка дотримання умов, що забезпечують несну здатність і деформативність конструкцій будинків, оцінювання їхнього технічного стану;
- коректування розрахункової схеми споруди з урахуванням встановлення елементів підсилення і розрахунок нової моделі;
- проектування підсилення на основі виконаних розрахунків.

Як приклад визначення технічного стану конструкцій після пожежі можна навести результати обстеження конструкцій в учбовому кабінеті № 2 СШ № 14 міста Алчевська. В результаті пожежі згоріли меблі, устаткування, заповнення віконних отворів.

Для визначення технічного стану та можливості подальшої експлуатації було створено комісію у складі представника міської адміністрації (начальника УКС, голови комісії), експертів, інженерів-будівельників (представників проектної організації), директора школи, представника ДСНС.

В результаті обстеження конструкцій було встановлено наступне:

- усі плити перекриття мали пошкодження – тріщини, сколи бетону, руйнування по нормальних і похилих перерізах, порушення зчеплення арматури та бетону. Прогини плит складали 40...85 мм, що значно перевищувало гранично допустиму величину, яка дорівнює 30 мм. Поверхневі шари бетону зруйновано на глибину 10...40 мм (рис. 1);



Рис. 1. Характерні дефекти плит перекриття після пожежі

- зовнішні та внутрішні стіни та простінки з силікатної цегли мали дефекти у вигляді руйнування поверхневих шарів кладки на глибину 120...250 мм (рис. 2, рис. 3);
- надвіконні перемички мали нормальні та похилі тріщини з шириною розкриття в межах 0,5...1,5 мм. Окремі перемички мали руйнування поверхневих шарів бетону на глибину до 10 мм з оголенням арматури поблизу опорної зони (рис. 4).



Рис. 2. Характерні дефекти простінка та перемички після пожежі



Рис. 3. Характерні дефекти внутрішньої стіни після пожежі



Рис. 4. Характерні дефекти простінка та перемичок

За результатами обстеження було зроблено висновок про аварійний стан цегляної кладки зовнішніх стін і плит перекриття. Визначення характеристик міцності матеріалів кладки та плит перекриття не виконувалось, оскільки було прийнято рішення про підсилення плит перекриття шляхом підведення сталеві плоскої рами під плити й підсилення простінків сталевими обоймами зі сталевих кутиків із передачею навантаження на фундаменти будівлі.

Для забезпечення подальшої безпечної експлуатації будівельних конструкцій було розроблено проект підсилення та реалізовано його в натурі. Схему підсилення наведено на рис. 5.

Включення в роботу елементів підсилення внаслідок наявності значного залишкового прогину плит здійснено шляхом силової деформації (вигину) елементів підсилення за допомогою гідравлічних домкратів. Після зняття навантаження та фіксації в проектному положенні елементи підсилення отримали вигин і включилися в роботу спільно з плитами перекриття. Загальний вигляд підсиленого перекриття наведено на рис. 6.

Було обстежено також будівельні конструкції в приміщеннях, які примикають до обстежених після пожежі. За результатами проведених досліджень дефектів і пошкоджень, які б свідчили про зниження несної здатності, не було виявлено.

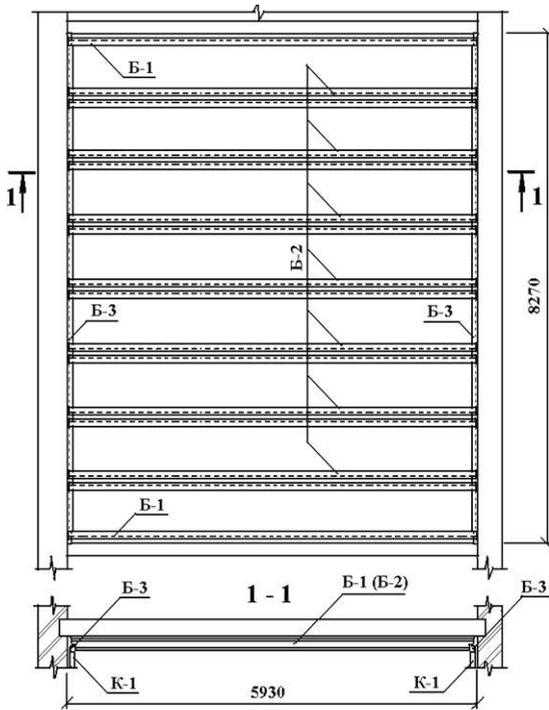


Рис. 5. Схема підсилення стін і перекриття у кабінеті № 2 СШ № 14



Рис. 6. Загальний вигляд підсилених будівельних конструкцій стін і перекриття

Таким чином, на основі проведеного комплексу досліджень визначено технічний стан конструкцій будівлі та розроблено рекомендації з проектом підсилення та реалізацією проекту в натурі.

#### 4. Прогнозування зміни технічного стану залізобетонних конструкцій за результатами моніторингу

Визначення поточного технічного стану разом із прогнозуванням його зміни в часі неможливо виконати без попередніх обстежень.

Загальний моніторинг технічного стану будівель і споруд являє собою систему планових, безперервних або періодичних заходів із спостереження та контролювання. Ці заходи проводяться за спеціально розробленою програмою для визначення змін у технічному стані конструкцій будинків та оцінки їх з метою недопущення граничних значень контрольованих параметрів. Під цим терміном мають на увазі максимальні (мінімальні) значення контрольованих параметрів, які використовують для настроювання системи моніторингу та призначені для оцінювання змін стану несних конструкцій об'єкта [13].

Настанова ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 [13] поширюється на будівлі та споруди для класів відповідальності за можливими наслідками СС2, СС3 згідно з ДБН В.1.2-14:2018 [14]. Настанова встановлює загальні вимоги до проведення моніторингу технічного стану конструкційних елементів, будівель та інженерних споруд.

Настанова ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 [13] 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. Зазначена настанова не замінює обов'язковості виконання учасниками будівельного процесу вимог щодо 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 проектною 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 мають 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 із використанням прогнозної зміни їх у часі встановлюються критерії вичерпання несної здатності конструкцій із зазначенням наслідків такого виду відмови, а також визначається залишковий ресурс.

Показниками моніторингу є величини статичних і динамічних характеристик конструкцій об'єкта, а сам моніторинг здійснюється за спеціально розробленими програмами. Щодо термінів проведення він є постійно діючим або періодичним, що виконується відповідно до вимог чинних нормативних документів за таких умов [2, 13]:

- закінчення нормативного терміну експлуатації об'єкта;
- виявлення значних пошкоджень об'єкта, які виникли під час його експлуатації;

- оцінювання можливості використання об'єкта за основним призначенням після техногенних і особливих впливів (агресивного середовища, високих температур тощо);
- зміна призначення споруди;
- за вимогою органів державного будівельного контролю.

Особливо важливим є об'єктивність та оперативність моніторингу, можливість оцінювати за його допомогою поточний технічний стан об'єктів і прогнозувати їх довговічність, виключати за цих умов можливість переходу об'єктів до аварійного стану.

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

Реакції змінення технічного стану конструкційних елементів реєструються датчиками системи моніторингу, які дозволяють отримувати дані реакції об'єкта на зовнішні та внутрішні впливи, а саме:

- переміщення об'єкта та окремих елементів у просторі у вигляді прогинів, осідань, нахилів 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 [14]. Причому мінімальну періодичність спостережень встановлюють 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 під час оцінювання технічного стану будівельних конструкцій, будинків та споруд. Кінцевим результатом оцінювання технічного стану будівельних конструкцій є

висновок про можливість (неможливість) подальшої експлуатації будинків та споруд у штатному режимі.

Визначення залишкового ресурсу конструкцій будинків виконується на основі отриманих в результаті моніторингу даних. За результатами аналізу технічної документації, візуального й інструментального обстеження виконується попереднє оцінювання технічного стану конструкцій, будівель та споруд в цілому та готується висновок про необхідність проведення чисельного моделювання НДС або спрощених розрахунків конструкцій [2, 9]. Попереднє оцінювання технічного стану проводиться на основі критеріїв оцінки. Прогноз зміни технічного стану під час подальшої експлуатації виконується на основі аналізування процесів деградації та 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 умова відмови конструкцій (умова досягнення конструкцією граничних станів першої групи) та умова досягнення конструкцією граничних станів другої групи [2].

Функції визначення несної здатності приймаються згідно з вимогами чинних нормативних документів. Допускається застосовувати прямі обмеження наступного типу щодо зміни конструктивних, міцнісних або інших визначальних параметрів [2]:

$$\delta_{\min} \leq \delta, \quad (1)$$

$$R_{\min} \leq R, \quad (2)$$

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

Оцінювання технічного стану проводиться зіставленням контрольованих параметрів із відповідними проектними параметрами або визначеними в результаті обстежень і розрахунків. Конструкції можуть перейти до граничного стану, якщо досягли граничних величин такі параметри:

- 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 (1) та (2) встановлюють за результатами розрахунків будівельних конструкцій відомими методами будівельної механіки й опору матеріалів для визначення несної здатності та порівняння її з максимальним діючим зусиллям:

$$F_{cr}[x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)] > F, \quad (3)$$

де  $F_{cr}[x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)]$  – функція несної 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, у тому числі, як функції часу, деформації ґрунтової основи тощо. Визначення величини діючого зусилля  $F$  для статично визначених конструкцій не являє ускладнень із принципової точки зору. Для статично невизначених конструкцій величина  $F$  визначається за наслідками математичного моделювання НДС, встановленого за результатами обстеження.

Перехід нерівності (3) у рівняння свідчить про вичерпання несної здатності (ресурсу) конструкції. Подальша експлуатація можлива після проведення робіт із підсилення (заміни) або ремонту.

Розрахунок залишкового ресурсу виконується в такій послідовності [2, 15, 16].

1. Виконується обстеження конструкцій і встановлюються контрольовані параметри: розміри поперечного перетину, характеристики міцності матеріалів, уточнюються величина та характер навантажень і впливів.
2. Визначається несна здатність конструкції за даними проведених обстежень  $F_{cr}[x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)]$ . За результатами розрахунку встановлюються максимальні зусилля  $F$ . Порівнюються:

$$F_{cr} \geq F. \quad (4)$$

Якщо нерівність виконується, несна здатність не вичерпано.

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

$$t_R = \Delta t \cdot \frac{F_{cr} - F}{F_{pr} - F_{cr}}; \quad (5)$$

$$\Delta t = t_1 - t_0, \quad (6)$$

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;  $F_{pr}$  – несна здатність елемента, визначена за проектними даними.

Визначення залишкового ресурсу доцільно виконувати на якомога більшій базі (6). Точніше рішення щодо величини ресурсу може бути отримане за наявності результатів регулярних спостережень і визначень контрольованих параметрів і технічного стану.

Якщо нерівність (4) не виконується, елемент знаходиться в стані, не придатному для експлуатації, або аварійному.

За наявності нерівномірних осідань основи, а також за високотемпературних впливів доцільним буде виконання математичного моделювання, встановленого за результатами проведеного обстеження НДС конструкцій і будівлі в цілому [9, 15, 16].

## **5. Висновки**

Основні результати, які отримано під час досліджень, можна сформулювати таким чином.

1. На основі проведених досліджень розроблено загальну методику визначення технічного стану та залишкового ресурсу безкаркасних будівель після різних впливів, яка комплексно дозволяє вирішувати наступні задачі:
  - розроблення комплексу взаємопов'язаних заходів щодо визначення параметрів технічного стану конструкцій після різних впливів;
  - встановлення параметрів та критеріїв технічного стану, які були б придатні для розрахунків НДС і визначення технічного стану конструкцій, будівель та споруд в цілому;
  - розроблення методів визначення характеристик міцності та деформативності елементів будівель та споруд після різних впливів;
  - розроблення методів розрахунку НДС, оцінювання технічного стану та можливості його регулювання для подальшої експлуатації конструкцій будинків та споруд після різних впливів;
  - розроблення загальних вимог щодо проведення моніторингу технічного стану конструкційних елементів, будівель та споруд в цілому;
  - розроблення методів визначення залишкового ресурсу конструкцій будівель та споруд на основі результатів моніторингу.
2. Підтверджено можливість практичного застосування розробленого комплексу взаємопов'язаних заходів щодо визначення параметрів НДС і технічного

стану конструкцій, будівель та споруд в цілому за силових, деформаційних і високотемпературних впливів. Розроблений комплекс дозволяє на основі аналізу технічної та нормативної документації встановити параметри та критерії технічного стану реальних об'єктів, виявити механізми старіння, проаналізувати можливі відмови та пошкодження, зробити прогноз подальшого розвитку деформацій фундаментів і конструкцій, виконати розрахунки на прогностні деформації та можливі високотемпературні впливи, розробити проект підсилення конструкцій і реалізувати його в натурі.

3. Розроблену методику в частині діагностики технічного стану і визначення залишкового ресурсу будівельних конструкцій використано під час оцінювання технічного стану і розроблення рекомендацій щодо можливості подальшої експлуатації реальних будівель та споруд [9, 15, 16]. Моделювання НДС конструкцій будівель та споруд було виконано із залученням ПК «ЛІРА-САПР».

### **Література**

- [1] Клименко Є. В. Технічний стан будівель та споруд : монографія / Є. В. Клименко. – Одеса : ОДАБА, 2010. – 316 с.
- [2] Gordiuk M. Determination of remaining resource of constructions of buildings after different Influences / [Gordiuk, M., Semynoh, M., Holodnov, O., Tkachuk, I., Ivanov B.] // Technology audit and production reserves. – 2019. – No. 5/1(49). – P. 4–9.
- [3] Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения. Нормы проектирования : ВСН 58-88(р) / Госкомархитектуры. – М. : Стройиздат, 1990. – 32 с.
- [4] Будинки та споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах. Частина I. Будинки і споруди на підроблюваних територіях : ДБН В.1.1-5-2000 – Офіц. вид. – К. : Держбуд України, 2001. – 65 с – (Захист від небезпечних геологічних процесів. Державні будівельні норми України).
- [5] Будинки та споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах. Частина II. Будинки і споруди на просідаючих ґрунтах : ДБН В.1.1-5-2000 – Офіц. вид. – К. : Держбуд України, 2001. – 87 с – (Захист від небезпечних геологічних процесів. Державні будівельні норми України).
- [6] Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування : ДБН В.2.1-10-2009 – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 82 с. – (Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення).

- Основи та фундаменти будинків і споруд. Державні будівельні норми України).
- [7] Правила визначення фізичного зносу житлових будинків : СОУ ЖКГ 75.11–35077234.0015:2009. – Офіц. вид. – К. : ЖКГ України, 2009. – 49 с.
- [8] Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану : ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. – Офіц. вид. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 45 с. – (Національний стандарт України).
- [9] Gordiuk M. Determination of the technical state of buildings and constructions after force and temperature influences / [Gordiuk, M., Semynoh, M., Holodnov, O., Tkachuk, I.] // Technology audit and production reserves – 2019. – No. 4/1(48). – P. 4–10.
- [10] Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення : ДБН В.2.6-98:2009. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. – (Конструкції будинків і споруд. Державні будівельні норми України).
- [11] Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги : ДБН В.1.1-7:2016. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіон України, 2017. – 35 с. – (Державні будівельні норми України).
- [12] Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека : ДБН В.1.2-7-2008. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2008. – 35 с. – (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Державні будівельні норми України).
- [13] Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд : ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 – Офіц. вид. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 38 с. – (Національний стандарт України).
- [14] Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд : ДБН В.1.2-14-2018. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіон України, 2018. – 36 с. – (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Державні будівельні норми України).
- [15] Семиног М. До розрахунку елементів підсилення будівель при розвитку нерівномірних деформацій ґрунтової основи і високотемпературних впливах / М. Семиног, О. Голоднов // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб наук. праць. – 2009. – № 19. – С. 336–341.
- [16] Семиног М. М. Моделювання напружено-деформованого стану для обґрунтування можливості продовження терміну експлуатації будівельних конструкцій, будівель та споруд / М. М. Семиног, О. І. Голоднов // Зб. наук.

праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського. – 2009. – Вип. 4. – С. 243–249.

## **Особенности расчета бескаркасных зданий при силовых, деформационных и высокотемпературных воздействиях**

**Голоднов А. И., д-р техн. наук, Семиног Н. Н.**

Украинский институт стальных конструкций имени В. Н. Шимановского, Украина

**Аннотация.** Объектом исследования являются техническое состояние и несущая способность железобетонных конструкций зданий и сооружений после силовых и высокотемпературных воздействий. Методики расчета, рекомендованные действующими нормативными документами Украины, не всегда позволяют правильно прогнозировать рост деформаций конструкций и оценить реальный запас несущей способности. Одним из наиболее проблемных мест есть расчет конструкций, которые работают при вынужденных смещениях опор и/или возможных высокотемпературных воздействиях. Положение усложняется еще и тем, что расчеты ведутся, как правило, с применением недеформированных схем. Усиление конструкций зданий, получивших повреждения после различных воздействий, выполняется, как правило, с использованием металлических элементов. При этом основным остается выполнение расчета конструкций для обоснованного назначения сечений элементов усиления. В ходе исследования использовались различные методы, в первую очередь моделирование работы конструкций с использованием метода конечных элементов и современных вычислительных комплексов. Это связано с тем обстоятельством, что предложенный метод решения задачи имеет ряд особенностей, в частности, позволяет определить распределение усилий в элементах здания после изменения характеристик жесткости или введения в расчетную схему дополнительных стержневых элементов. В ходе решения задачи моделируется появление и развитие трещин путем изменения характеристик жесткости элементов. Получены усилия, которые могли бы возникнуть в элементах здания и усиления. Благодаря этому обеспечивается возможность принятия решения о возможности дальнейшей эксплуатации, усилении или замене конструкций. Изменение условий закрепления рассматривается как воздействие со стороны основания. По сравнению с аналогичными известными методами такой подход обеспечивает возможность прогнозирования изменения технического состояния во времени, то есть учет изменения условий закрепления и характеристик материалов конструкций здания позволит более обоснованно подойти к оценке напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса конструкции или сооружения в целом.

**Ключевые слова:** железобетонные элементы зданий и сооружений, прогибы слабоармированных элементов, расчет конструкций, остаточный ресурс.

## **Features of Calculation of Frameless Buildings under Conditions of Force, Distortion and High-Temperature Influences**

**O. Holodnov, Dr. Sc. (Eng.), M. Semynoh**

V. Shimanovsky Ukrainian Institute of Steel Construction, Ukraine

**Abstract.** The object of research is technical condition and bearing strength of reinforced concrete members of buildings and structures after force and high-temperature influences.

Calculation methods recommended by the current regulatory documents of Ukraine do not always allow correctly predict the growth of structural distortions and assess the real bearing strength reserve. One of the most problematic places is the calculation of structures that work under forced displacements of supports and/or possible high-temperature influences. The situation is complicated by the fact that the calculations are carried out, as a rule, using unstrained models. Strengthening of structures of buildings that have suffered damage after various impacts is usually carried out using metal elements. At the same time, the main thing remains to perform structural analysis for the justified purpose of the sections of reinforcing elements. Strengthening the structures of buildings that have been damaged after various impacts is generally executed using metal members. In this case, the main thing remains to perform the structural analysis for reasonable assignment of sections for reinforcing members. During the research different methods were used, first of all, modeling of work of constructions with the use of finite element method and modern computing complexes. This is due to the fact that the proposed method for solving the problem has a number of features, in particular, it allows determining the distribution of forces in the building members after changing stiffness characteristics or introducing additional rod elements into the structure model. In the course of solving the problem, the appearance and development of cracks is modeled by changing the stiffness characteristics of the members. Forces that could occur in building and reinforcement members were obtained. This provides the opportunity to decide on the possibility of further operation, reinforcement or replacement of structures. Changing the anchoring conditions is considered as action on the foundation. Compared with similar known calculation methods, this approach makes it possible to predict changes in the technical condition over time, that is, taking into account changes in anchoring conditions and characteristics of building materials will allow a more reasonable approach to assessing the stress-strain state and the residual life of the structure or civil engineering works as a whole.

**Key words:** reinforced concrete members of buildings and structures, deflections of lightly reinforced members, structural analysis, residual life.

*Надійшла до редколегії 23.12.2019 р.*