

УДК 624.012:624.046

РОЗРАХУНОК БУДИНКІВ СОЦІАЛЬНОГО ЖИТЛА ДЕФОРМАЦІЙНИМ МЕТОДОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРАНСФОРМОВАНИХ В ЧАСІ ДІАГРАМ ДЕФОРМУВАННЯ БЕТОНУ

БОЛОТОВ О. Ю.^{1*}, *м.н.с.*КАРПЕНКО О. А.^{2*}, *м.н.с.*

^{1*} Відділ надійності будівельних конструкцій, Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», вул. Преображенська, 5/2, 03037, Київ, Україна, тел. +38 (044) 2493775, e-mail: viperwk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4102-3079

^{2*} Відділ надійності будівельних конструкцій, Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», вул. Преображенська, 5/2, 03037, Київ, Україна, тел. +38 (044) 2493744, e-mail: asrockbest@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7943-1537

Анотація. У більшості країн світу житлова політика є однією із найвагоміших сфер публічної політики та тем постійних найгостріших суспільних дискусій. Зростання обсягів будівництва в останні роки, більшість населення, особливо його незахищені верстви, фактично позбавлені можливостей будь-яким чином поліпшити умови свого проживання через велику собівартість житла. Створення соціального житла має стати одним із найважливіших напрямів житлової політики України, ключовим фактором соціального захисту тих верств населення, які потребують підтримки з боку держави. Найважливіша економічна умова успішності здійснення програми будівництва соціального житла - мінімізація його собівартості - диктуватиме й вимоги як до вибору місця його будівництва, так і до застосовуваних конструктивних систем, поверховості, будівельних матеріалів тощо. Другою важливою проблемою створення соціального житла є надання допомоги населенню, яке постраждало від проявів стихії або техногенних впливів, або військові дії на сході країни і повністю втратило житло. Проблема є суттєвим соціальним завданням держави. Вирішення проблеми вимагає створення двох систем будинків. Перша повинна забезпечувати створення тимчасового житла в екстремально стислий термін. Друга полягає в швидкому будівництві індустріальними методами первинного житла, яке надається постраждалим на засаді державної субсидії. При цьому будинки для постійного проживання, навіть в умовах обмежених термінів будівництва, повинні бути не тільки швидкобудуємими, але, у першу чергу, і такими, що відповідають вимогам чинних Будівельних Норм щодо міцності, довговічності, енергоефективності, комфорту, екологічності, архітектурної виразності і т.д., а також кліматичним, геологічним і іншим особливостям регіону будівництва. Розраховуючи подібні схеми будинків соціального житла серед перелічених умов конструювання необхідно враховувати довготривалість використання. Тому міцність конструкцій соціального житла при тривалій дії навантаження з врахуванням трансформованих діаграм деформування бетону набуває великого значення. Для вирішення завдання існує безліч підходів. Багато з них мають свої плюси і мінуси. У нашому випадку найбільш оптимальний і логічний буде метод розрахунку рамних конструкцій методом переміщень з використанням деформаційного методу зі змінною жорсткістю стержнів на основі використання трансформованих в часі діаграм деформування бетону. Даний метод дає повну свободу у вирішенні завдання статичної невизначеності і безпосереднього розрахунку перерізу елементів. Такий підхід дозволяє вирішити задачу в не залежності від типу завантаження і/або їх комбінації. Для розрахунку плоскої рами в нелінійній постановці ітераційним методом з коригуванням змінних жорсткостей в перерізах ригеля та стійок використовуємо алгоритм розв'язання системи нелінійних рівнянь рівноваги залізобетонного розрахункового перерізу за деформаційним методом на основі використання трансформованих в часі діаграм деформування бетону. **Висновки.** Порівняльний аналіз чотирьох КС та розрахунок рамних конструкцій зі змінною жорсткістю з використанням трансформованих в часі діаграм деформування бетону дає можливість максимально ефективно використовувати несучу здатність конструкцій з зниженням витрат на виготовлення та отримувати результати з високою точністю. Каркасна система дозволяє достатньо вільне використання внутрішнього простору для організації планування індивідуального будинку. Панельні варіанти утворюють більш «жорстку» планувальну структуру, але достатню для первинного забезпечення житлом середньої за складом родини. Збільшення потенціального ресурсу використання несучих конструкцій.

Ключові слова: соціальне житло, житлова політика, швидкобудуємі будинки, розрахунок залізобетонних рам, фактор часу, довготривалі навантаження, деформаційний метод, діаграми деформування бетону, змінна жорсткість.

РАСЧЕТ ЗДАНИЙ СОЦИАЛЬНОГО ЖИЛЬЯ ДЕФОРМАЦИОННЫМ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ВО ВРЕМЕНИ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА

БОЛОТОВ А. Ю.^{1*}, *м.н.с.*КАРПЕНКО А. А.^{2*}, *м.н.с.*

^{1*} Отдел надежности строительных конструкций, Государственное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», ул. Преображенская, 5/2, 03037, Киев, Украина, тел. +38 (044) 2493775, e-mail: viperwk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4102-3079

^{2*} Отдел надежности строительных конструкций, Государственное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», ул. Преображенская, 5/2, 03037, Киев, Украина, тел., +38 (044) 2493744, e-mail: asrockbest@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7943-1537

Аннотация. В большинстве стран мира жилищная политика является одной из важных сфер публичной политики и тем постоянных острых общественных дискуссий. Рост объемов строительства в последние годы, большинство населения, особенно его незащищенные слои, фактически лишены возможности каким-либо образом улучшить условия своего проживания из-за большой себестоимости жилья. Создание социального жилья должно стать одним из важнейших направлений жилищной политики Украины, ключевым фактором социальной защиты тех слоев населения, которые нуждаются в поддержке со стороны государства. Важнейшее экономическое условие успешности осуществления программы строительства социального жилья - минимизация его себестоимости – будет диктовать требования как к выбору места его строительства, так и к применяемым конструктивным системам, этажности, строительных материалов и т.д. Второй важной проблемой создания социального жилья является оказание помощи населению, пострадавшему от проявлений стихии или техногенных воздействий, или военные действия на востоке страны и полностью утратило жилье. Проблема является существенной социальной задачей государства. Решение проблемы требует создания двух систем зданий. Первая должна обеспечивать создание временного жилья в экстремально сжатые сроки. Вторая заключается в быстром строительстве индустриальными методами первичного жилья, предоставляемого пострадавшим по принципу государственной субсидии. При этом дома для постоянного проживания, даже в условиях ограниченных сроков строительства, должны быть не только быстровозводимыми, но и соответствующими требованиям действующих строительных норм по прочности, долговечности, энергоэффективности, комфорта, экологичности, архитектурной выразительности и т.д., а также климатическим, геологическим и другим особенностям региона строительства. Рассчитывая подобные схемы зданий социального жилья среди перечисленных условий конструирования необходимо учитывать продолжительность использования. Поэтому прочность конструкций социального жилья при длительном воздействии нагрузки с учетом трансформируемых диаграмм деформирования бетона приобретает большое значение. Для решения задачи существует множество подходов. Многие из них имеют свои плюсы и минусы. В нашем случае наиболее оптимальный и логичный будет метод расчета рамных конструкций методом перемещений с использованием деформационного метода с переменной жесткостью стержней на основе использования трансформируемых во времени диаграмм бетона. Данный метод дает полную свободу в решении задачи статической неопределенности и непосредственного расчета сечения элементов. Такой подход позволяет решить задачу в не зависимости от типа загрузки и/или их комбинации. Для расчета плоской рамы в нелинейной постановке итерационным методом с корректировкой переменных жесткостей в сечениях ригеля и стоек используем алгоритм решения системы нелинейных уравнений равновесия железобетонного расчетного сечения деформационным методом на основе использования трансформируемых во времени диаграмм деформирования бетона. **Выводы.** Сравнительный анализ четырех КС и расчет рамных конструкций с переменной жесткостью с использованием трансформируемых во времени диаграмм деформирования бетона дает возможность максимально эффективно использовать несущую способность конструкций со снижением затрат на изготовление и получать результаты с высокой точностью. Каркасная система позволяет достаточно свободно использовать внутреннее пространство для организации планирования индивидуального дома. Панельные варианты создают более «жесткую» планировочную структуру, но достаточную для первичного обеспечения жильем средней по составу семьи. Увеличение потенциального ресурса использования несущих конструкций.

Ключевые слова: социальное жилье, жилищная политика, быстровозводимые дома, расчет железобетонных рам, фактор времени, долговременные нагрузки, деформационный метод, диаграммы деформирования бетона, переменная жесткость.

CALCULATION OF BUILDINGS OF SOCIAL HOUSING BY A DEFORMATION METHOD BASED ON TIME FACTOR WITH USING TRANSFORMED DIAGRAM OF CONCRETE DEFORMATION

BOLOTOV A. U.^{1*}, *PhD student*
KARPENKO A.A.^{2*}, *PhD student*

^{1*} Department of the Structures Reliability, State Enterprise «The state research institute of building constructions» 5/2 Preobrazhenska str., 03037, Kyiv, Ukraine, phone +38 (044) 2493775, e-mail: viperwk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4102-3079

^{2*} Department of the Structures Reliability, State Enterprise «The state research institute of building constructions» 5/2 Preobrazhenska str., 03037, Kyiv, Ukraine, phone. +38 (044) 2493744, e-mail: asrockbest@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7943-1537

Annotation. In most countries of the world, housing policy is one of the important areas of public policy and the constant acute public debate. The growth in construction in recent years, the majority of the population, especially its unprotected strata, are actually unable to improve their living conditions in any way because of the high cost of housing. The creation of social housing should be one of the most important areas of Ukraine's housing policy, a key factor in the social protection of those segments of the population

who need government support. The most important economic condition for the success of the social housing construction program - the minimization of its cost price - will dictate the requirements for both the choice of the location of its construction and the structural systems, floors, construction materials used, etc. The second important problem of creating social housing is providing assistance to people affected by manifestations of natural or man-made impacts, or military actions in the east of the country and completely lost housing. The problem is an essential social task of the state. Solving the problem requires the creation of two building systems. The first should ensure the creation of temporary housing in extremely short terms. The second is the rapid construction by industrial methods of primary housing provided to the victims on the basis of the state subsidy. At the same time, houses for permanent residence, even in conditions of limited construction time, should not only be quick-erect, but also in accordance with the requirements of the current building standards for strength, durability, energy efficiency, comfort, environmental friendliness, architectural expressiveness, etc., as well as climatic, Geological and other features of the construction region. While calculating such schemes of social housing buildings among the listed construction conditions, it is necessary to take into account the duration of use. Therefore, the strength of social housing designs with long-term load effects, taking into account the transformable concrete deformation diagrams, becomes very important. There are many approaches to solve the task. Many of them have their pros and cons. In our case, the most appropriate and logical method is to calculate frame structures by displacement using the deformation method with variable stiffness rods through the use of transformable strain diagrams of concrete. This method gives full freedom in solving the problem of redundancy and the direct calculation of elements section. Such approach helps to solve the problem despite the type of load and / or their combination. In order to calculate the flat frame in nonlinear installment by iterative method with adjusted variable rigidity in sections of crossbar and uprights we are using an algorithm for solving systems of nonlinear equations for concrete estimated sections equilibrium using the deformation method through the use of transformable strain diagrams of concrete. **Conclusions.** The comparative analysis of four CS and the calculation of variable-rigidity frame structures using time-varying diagrams of concrete deformation make it possible to use the load-bearing capacity of structures as efficiently as possible while reducing production costs and to obtain results with high accuracy. The frame system allows you to freely use the internal space for organizing the planning of an individual house. The panel options create a more "rigid" planning structure, but sufficient for the primary provision of housing to an average family. Increase in the potential resource for the use of load-bearing structures.

Keywords: Social housing, housing policy, prefabricated houses, calculation of reinforced concrete frames, the time factor, long-term load, the deformation method, concrete stress-strain diagram the variable stiffness.

У більшості країн світу житлова політика є однією із найвагоміших сфер публічної політики та тем постійних найгостріших суспільних дискусій. Зростання обсягів будівництва в останні роки, більшість населення, особливо його незахищені верстви, фактично позбавлені можливостей будь-яким чином поліпшити умови свого проживання через велику собівартість житла [1].

Створення соціального житла має стати одним із найважливіших напрямів житлової політики України, ключовим фактором соціального захисту тих верств населення, які потребують підтримки з боку держави.

При формуванні політики щодо соціального житла мають виконуватися наступні вимоги:

- 1) соціальне житло повинне відповідати встановленим санітарним, протипожежним та будівельним стандартам і нормам;
- 2) надання соціального житла має задовольняти потреби тих, хто з соціально-значимих причин не здатний забезпечити себе житлом.

Найважливіша економічна умова успішності здійснення програми будівництва соціального житла - мінімізація його собівартості - диктуватиме й вимоги як до вибору місця його будівництва, так і до застосовуваних конструктивних систем, поверховості, будівельних матеріалів тощо.

Другою важливою проблемою створення соціального житла є надання допомоги населенню, яке постраждало від проявів стихії або техногенних впливів, або військові дії на сході країни і повністю втратило житло. Проблема є суттєвим соціальним завданням держави. Вирішення проблеми вимагає створення двох систем будинків. Перша повинна забезпечувати створення тимчасового житла в

екстремально стислий термін. Друга полягає в швидкому будівництві індустріальними методами первинного житла, яке надається постраждалим на засаді державної субсидії.

При цьому будинки для постійного проживання, навіть в умовах обмежених термінів будівництва, повинні бути не тільки швидкобудуємими, але, у першу чергу, і такими, що відповідають вимогам чинних Будівельних Норм щодо міцності, довговічності, енергоефективності, комфорту, екологічності, архітектурної виразності і т.д., а також кліматичним, геологічним і іншим особливостям регіону будівництва.

Проектні пропозиції [2] для розробки будинків соціального житла напряму залежать від багатьох чинників при ліквідації наслідків прояву надзвичайних ситуацій та військових дій. Процес характеризується наступними чинниками:

- місцем надзвичайних подій є сільська місцевість: міста, села, селища міського типу;
- конструктивна система (далі КС) передбачає комплект виробів, які утворюють тримальні і зовнішні огорожувальні конструкції;
- КС дозволяє організацію планування внутрішнього простору будинку відповідно до бажання власника;
- КС є закінченою тримальною і огорожувальною частинами одноповерхового будинку;
- КС припускає в подальшому надбудову будинку ще одним повноцінним поверхом або мансардою;
- КС проектується таким чином, що

максимально враховуються всі екологічні та енергоефективні технології.

Конструктивні системи можуть бути створенні на засадах каркасних і великопанельних будинків та можуть бути розділені на чотири типи (рисунок 1).



Рис. 1. Конструктивні системи швидкобудуємих будинків / Constructive systems of fast-erecting houses

Систему «Каркас» пропонується утворити на базі міжвидової каркасної системи серії 1.020 (рисунок 2).

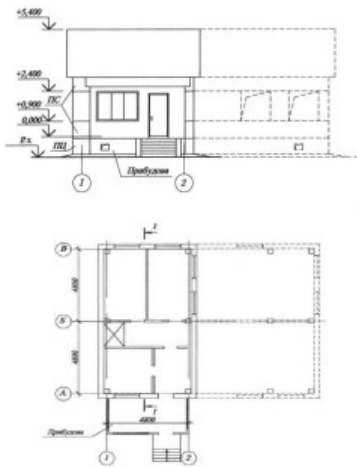


Рис. 2. Основні технічні рішення: а - фасад 1-2, б - план на поз. 0,000 / Basic technical solutions: a – facade 1-2, в - plan at elevation 0,000

Систему «Тепла панель» пропонується утворити на базі технічних рішень великопанельних житлових будинків, які у свій час були впроваджені у будівництво в сільській місцевості і в селищах міського типу (рисунок 3).

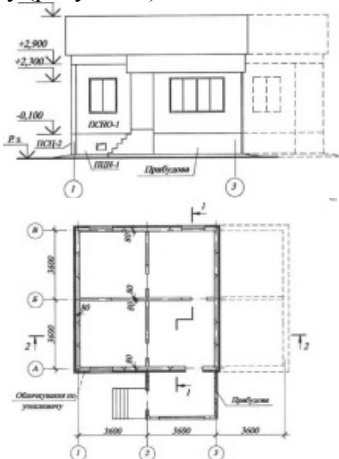


Рис. 3. Основні технічні рішення системи «Тепла панель»: а - фасад 1-3, б - план на поз. 0,000 / Basic technical solutions «Warm panel»: а – facade 1-2, в - plan at elevation 0,000

Систему «Залізобетонна панель» теж пропонується утворити на базі технічних рішень великопанельних житлових будинків, які у свій час були впроваджені у будівництво в сільській місцевості і в селищах міського типу (рисунок 4)

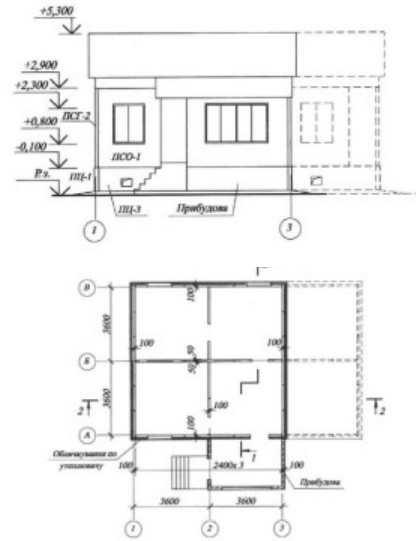


Рис. 4. Основні технічні рішення системи «Залізобетонна панель»: а) - фасад 1-3; б) - план на позн. 0,000 / Basic technical solutions «Reinforced concrete panel»: а – facade 1-2, в - plan at elevation 0,000

Система «Контур». Номенклатура конструкції будинку складається з панелей перекриттів, стін, фундаментних блоків і елементів кроквяного даху (рисунок 5). Розміри панелей завширшки не перевищують 2,4 м, завдовжки - 4,8 м. Всі панелі завтовшки 200 мм. Вироби являють собою залізобетонні рами заповнені в середній частині ефективним твердим утеплювачем (пінополістирол і ін.)

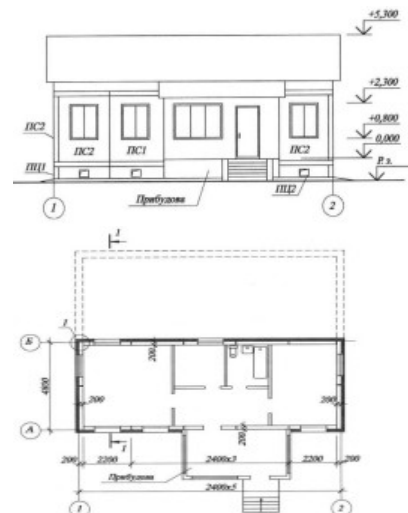


Рис. 5. Основні технічні рішення системи «Контур»: а - фасад 1-2, б - план на позн. 0,000 / Basic technical solutions «Circuit»: а – facade 1-2, в - plan at elevation 0,000

На рисунках 2-5 штриховими лініями показані можливі рішення розширення будинків.

Планувальна і конструктивна структури всіх чотирьох систем базується на збільшеному модулі $M=2400$ мм, що викликане обмеженнями при транспортуванні збірних елементів в ускладнених умовах.

До комплексу конструкцій будинку входять матеріали і виробы для самостійного виконання силами власника другорядних складових будинку.

В проектах будинки мають стрічкові фундаменти зі збірних залізобетонних блоків. Підпол має бути заввишки таким, що не потребує утеплення дна. Передбачено, що забудова ведеться на ділянці зі звичайними інженерно-геологічними умовами.

Стіни і перегородки рекомендується виконувати з матеріалів, які є найбільш поширеними в регіоні будівництва, схилі дахи - по дерев'яних приставних кроквах. Дахи пропонується виконувати найпростішої двосхилової конструкції. При блокуванні будинків у багатоквартирні комплекси дахи можуть набувати більш складної, але й більш презентабельної форми.

Тепловий захист будинків забезпечується зовнішнім утепленням стін плитами з пінополістиролу з наступним влаштуванням захисно-декоративного шару у відповідності до конкретного проекту. Тепло- і пароізоляція горищного перекриття виконується за звичайними технічними рішеннями.

Розраховуючи подібні схеми будинків соціального житла серед перелічених умов конструювання необхідно враховувати довготривалість використання. Тому міцність конструкцій соціального житла при тривалій дії навантаження з врахуванням трансформованих діаграм деформування бетону набуває великого значення.

Розрахунок подібних задач зводиться до двох частин:

- розрахунок статично невизначеної задачі методом переміщень і визначення зусиль в конструкціях житлових будинків соціального житла, як статично невизначених залізобетонних рам з врахуванням перемінної жорсткості елементів;

- розрахунок перерізу елемента за деформаційним методом з використанням трансформованої діаграми деформування бетону "σ-ε" з урахуванням тривалої дії навантажень.

Для вирішення завдання існує безліч підходів. Багато з них мають свої плюси і мінуси. У нашому випадку найбільш оптимальний і логічний буде метод розрахунку рамних конструкцій методом переміщень з використанням деформаційного методу зі змінною жорсткістю стержнів. Даний метод дає повну свободу у вирішенні завдання статичної невизначеності і безпосереднього розрахунку перетину елементів. Такий підхід дозволяє вирішити задачу в не залежності від типу навантаження і/або їх комбінації.

Існує інший підхід вирішення вказаної задачі з досягненням високої точності результатів. Так, наприклад, в роботах Голишева О.Б., Бамбури А.М. і Жданова О.Е. [3, 4] розроблено аналітичне рішення нерозрізних статично невизначених балок із залежностями переміщень вузлів від кривизни кожної і-ї ділянки балки, а також встановлено, що мінімально необхідна кількість ділянок балки повинна бути не менш п'яти.

В роботах [3, 4] приведено аналітичні залежності переміщень вузлів від кривизни кожної і-ї ділянки статично невизначеної нерозрізної балки (1) - (3), що можемо поширити на варіант розрахунку плоских рам з жорстким сполученням стержнів (рис.6) і жорстким з'єднанням на опорних вузлах:

- при врахуванні впливу деформацій правого крайнього вузла :

$$\frac{Y_k - Y_{n+1}}{l} + \frac{1}{6n^2} \left\{ (3n-1)\chi_{n+1} + \chi_k l + 6 \sum_{j=2}^n [(n+1) - j]\chi_j l \right\} = 0; \quad (1)$$

- при врахуванні впливу деформацій лівого крайнього вузла :

$$\frac{Y_{n+1} - Y_k}{l} + \frac{1}{6n^2} \left\{ (3n-1)\chi_k + \chi_{n+1} l + 6 \sum_{j=2}^n [n+1 - j]\chi_j l \right\} = 0; \quad (2)$$

де: і - номер вузла ділянки стержня;

Y_k - переміщення k-го (лівого) вузла ділянки стержня;

Y_{n+1} - переміщення n+1-го (крайнього, правого) вузла ділянки стержня;

n - кількість ділянок, на які розбивається стержень;

χ_i - кривизна і-ї ділянки стержня.

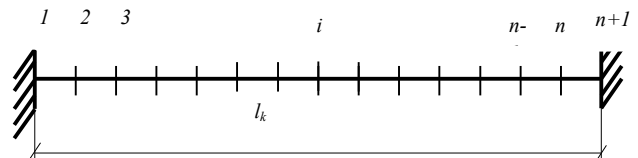


Рис. 6. Схема розбивки стержня з індексацією вузлів / Rod breaking scheme with indexing of nodes

Зусилля в кожному і-у перерізі стержня відповідно до [4] визначаються за формулою:

$$M_i = \frac{M_1[(n+1) - i] + M_{n+1}(i-1)}{n} + M_j^0, \quad (3)$$

де M_j^0 - додаткові завантаження на опорах стержня.

Визначення кутів повороту перерізу виконують за методом Мора:

$$\delta_{aa} = \sum \int \frac{M_a \cdot \overline{M_a}}{EI} dx. \quad (4)$$

$$\delta_{bb} = \sum \int \frac{M_b \cdot \overline{M_b}}{EI} dx. \quad (5)$$

$$\delta_{ab} = \delta_{ba} = \sum \int \frac{M_a \cdot \overline{M_b}}{EI} dx. \quad (6)$$

Залежності кутів повороту перерізу в прольоті n від моменту M_{n-1} і в прольоті $n+1$ від моменту M_n , за умови рівності цих моментів одиниці, визначатимуться за виразами [5]:

$$\delta_{n,n} = \frac{1}{EJ} \frac{1 \cdot l_n}{2} \frac{1}{3} = \frac{l_n}{6EJ}. \quad (7)$$

$$\delta_{n,n} = \frac{1}{EJ} \frac{1 \cdot l_n}{2} \frac{2}{3} = \frac{l_n}{3EJ}. \quad (8)$$

Тоді сумарна величина кута повороту перерізу на опори n дорівнює:

$$\delta_{n,n} = \frac{l_n}{6EJ} + \frac{l_n}{3EJ}. \quad (9)$$

У загальному випадку розрахунок рамних стержнів із розбиттям на ділянки з різними значеннями жорсткостей можна виконати, як і будь-якої статично невизначної системи, методом сил. Основну систему отримуємо введенням в тіло стержнів (ригеля та стійок) шарнірів у вузлах розділення їх на ділянки. Зайвими невідомими будуть згинальні моменти M_1, M_2, \dots, M_{n+1} у вузлах. При такому варіанті основної системи дія заданого навантаження поширюється тільки на ділянку з прикладеним навантаженням. Вплив її на інші ділянки проявлятиметься тільки у вигляді опорних згинальних моментів M_i [6].

Аналіз значень δ_{aa}, δ_{bb} і δ_{ab} для вузлів окремих ділянок і стержня в цілому, призводить до висновку, що вони можуть бути виражені у вигляді функції довжини стержня (l), кількості ділянок стержня (n) і жорсткостей окремих ділянок стержня (Bi).

Значення одиничних кутів повороту у вузлах стержнів рами $\delta_{aa}, \delta_{bb}, \delta_{ab}$ з урахуванням змінної жорсткості визначаються досить громіздкими виразами, що складаються з n додатків (за кількістю ділянок ділення стержнів рам). Проте, аналіз цих виразів дозволив визначити значення приведених кутів повороту як функцію від кількості ділянок, на які розділяється стержень рами, кількості ділянок або номера додатку у формулі і номера ділянки:

$$\delta_{aa} = \frac{l}{3ni^2} \left(\sum_1^n \frac{3j^2 - 3j + 1}{EI_j} \right) \quad (10)$$

$$\delta_{bb} = \frac{l}{3ni^2} \left(\sum_1^n \frac{3j^2 - 3j + 1}{EI_j} \right) \quad (11)$$

$$\delta_{ab} = -\frac{l}{6ni^2} \left(\sum_1^n \frac{1}{EI_j} + \frac{[3(1+2(j-1))i-2(3j^2-3j+1)]}{EI_j} \right), \quad (12)$$

де n - кількість ділянок, на які розділяється стержень рами (у нашому випадку - 10);

i - кількість ділянок;

j - номер ділянки;

l - довжина стержня рами;

EI_j - жорсткість j -ї ділянки стержня рами.

Розглядаючи стержні рами із завантаженнями опорних вузлів одиничними моментами, ми можемо скласти систему 2-х рівнянь за методом сил, з якої за методом Крамера знайдемо невідомі - внутрішні зусилля в затиснених вузлах стержня від одиничних зміщень $\delta_{aa}, \delta_{bb}, \delta_{ab}$:

$$Z_a = \frac{\delta_{aa}}{(\delta_{aa}\delta_{bb} - \delta_{ab}^2)}; \quad (13)$$

$$Z_b = -\frac{\delta_{ab}}{(\delta_{aa}\delta_{bb} - \delta_{ab}^2)}. \quad (14)$$

Розглядаючи цю ж задачу методом переміщень, можемо записати:

$$r_{aa} = \frac{4EI}{l}. \quad (15)$$

$$r_{ab} = \frac{2EI}{l}. \quad (16)$$

Порівнюючи значення внутрішніх зусиль від одиничних зміщень у вузлових перерізах стержнів рами в рівняннях (13- 16), отримуємо:

$$\frac{4EI}{l} = \frac{\delta_{aa}}{(\delta_{aa}\delta_{bb} - \delta_{ab}^2)}; \quad (17)$$

$$\frac{2EI}{l} = \left| -\frac{\delta_{ab}}{(\delta_{aa}\delta_{bb} - \delta_{ab}^2)} \right|. \quad (18)$$

З рівняння рівноваги лівого верхнього вузла рами:

$$M_{\text{стійка}}^{\text{верх}} + M_{\text{ригель}}^{\text{лів}} = 0. \quad (19)$$

Визначивши всі невідомі величини зусиль в конструкціях при розрахунку методом переміщень з урахуванням перемінної жорсткості стержнів в момент часу $\Delta t=1$, переходимо до розрахунку перерізу, коли визначимо нові значення кривизни в розрахункових перерізах та величини жорсткості на проміжних ділянках стержнів рами.

Для розрахунку залізобетонної рами в нелінійній постановці ітераційним методом з коригуванням змінних жорсткостей в перерізах центрально стиснутих та згинаних елементів використаємо алгоритм розв'язання системи нелінійних рівнянь рівноваги залізобетонного розрахункового перерізу за деформаційним методом, наведеним в роботі Бамбури А.М., Гурківського О.Б., Безбожної М.С. та Дорогової О.В. [10], але внесемо зміни для трансформування діаграми деформування бетону для можливості врахування фактору часу. Для цього використаємо методику [4] та [7], в якій були задані передумови для модифікованого аналітичного моделювання діаграми деформування бетону з метою врахування довготривалої дії навантаження на основі даних експериментальних та аналітичних досліджень ДП НДІБК. Крім того, враховуємо передумови, що закладені в основу методик [3], [9].

Згідно наведених передумов та дослідів авторів [4], [7], [10] діаграма деформування бетону при тривалій дії навантаження має наступний вигляд. На рисунку 7 наведено діаграми деформування бетону при короткочасній та тривалій дії навантаження.

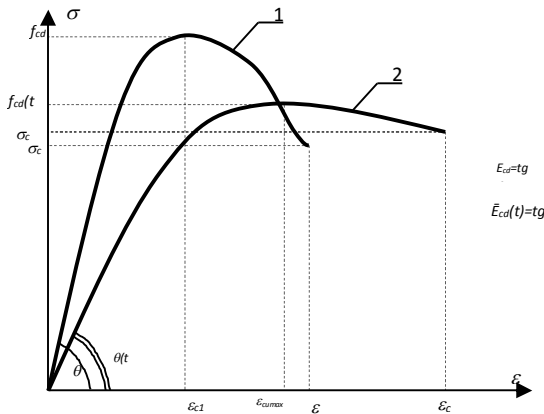


Рис.7 – Діаграми деформування бетону при короткочасній (1) та тривалій (2) дії навантаження / Diagram of concrete deformation at short (1) and long term (2) load impact

На основі аналізу результатів роботи [8], для інших параметрів діаграми (дивись рисунок 7) автор запропонував наступні залежності:

$$\varepsilon_{c1}(t) = \varepsilon_{c1} [1 + \eta(0.18 + 0.2734 \cdot \ln(t))] \quad (20)$$

$$\varepsilon_{cu}(t) = \varepsilon_{cu} [1 + n(0.206 + 0.239 \cdot \ln(t))] \quad (21)$$

$$\beta(t) = \beta + \left(\frac{\varepsilon_{cu}(t) - \varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu}} \right) \left(\frac{0.93 - \beta}{2} \right) \quad (22)$$

$$f_{cd}(t) = f_{cd} [0.9488 - 0.0166 \ln(t)] \cdot k(\eta, t) \quad (23)$$

$$k(\eta, t) = 1 - 0.152 \ln(t) [1 - 1.4\eta + 0.491\eta^2] \quad (24)$$

Враховуючи залежності описані в методиці [8] та роботі [10] та параметри діаграми для врахування довготривалої дії навантаження в часі, отримана можливість трансформувати алгоритм розв'язання системи нелінійних рівнянь рівноваги залізобетонного розрахункового перерізу за деформаційним методом з урахуванням фактору часу. У відповідності з прийнятими залежностями [8], рівняння рівноваги внутрішніх та зовнішніх зусиль у нормальному перерізі згинального залізобетонного елемента при довготривалій дії навантаження в загальному виді матимуть вигляд:

$$F(\chi, \varepsilon_{c1}(t)) - N = 0; \quad (25)$$

$$\phi(\chi, \varepsilon_{c1}(t)) - M = 0. \quad (26)$$

де: $N = \frac{\varepsilon_{c1}(t) - \varepsilon_{c2}(t)}{h}$ - кривизна осі перерізу,

що згинається при тривалій дії навантаження;

$\varepsilon_{c1}(t)$ - деформація бетону стиснутої фібри;

N та M - зовнішня нормальна сила та згинальний момент.

Функції $F(\chi, \varepsilon_{c1}(t))$ та $\phi(\chi, \varepsilon_{c1}(t))$ для довільного моносиметричного перерізу мають вигляд:

$$F(\chi, \varepsilon_{c1}(t)) = \int_F \sigma_c(t)(x) dF + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si}; \quad (27)$$

$$\phi(\chi, \varepsilon_{c1}(t)) = \int_F \sigma_c(t)(x) x dF + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} z_{si}. \quad (28)$$

При цьому можуть виникнути дві форми рівноваги перерізу, коли напруження розтягу в перерізі не досягають величини f_{ctd} або весь переріз стиснутий, та коли в перерізі є зона "пластичних деформацій" розтягу.

Вирішуючи цей алгоритм методом підбору, ми набуваємо значень точок деформацій, за якими будується діаграма деформування бетону з урахуванням чинника часу.

Вирішивши задачу і отримавши необхідні значення кривизни по діаграмі "M-χ", можемо визначити значення жорсткостей $M_i = \chi_i B_i$ в кожному перерізі, що у свою чергу дає можливість виконати ітераційний розрахунок за жорсткостями з необхідною точністю і отримати величини зусиль в рамній конструкції з врахуванням перерозподілу зусиль при довготривалій дії навантаження (вплив фактору часу).

При розрахунку конструктивних систем було побудовано діаграми деформування бетону в класичній постановці та використовуючи трансформовані діаграми, які описують вплив довготривалих процесів на конструкції.

Несучі елементи конструкцій будинків соціального житла мали наступні параметри: бетон класу C25/30, у вертикальному напрямку армовано стержнями $\varnothing 16AIII$ ($A_{sup} = A_{sp} = 2,011 \text{ см}^2$), в горизонтальному – армовано стержнями $\varnothing 16AIII$ ($A_s = A_s' = 2,011 \text{ см}^2$).

Використовуючи методику розрахунку статично невизначених залізобетонних рам деформаційним методом з урахуванням фактору часу на описаних вище конструкціях проведено розрахунок за деформаційним методом в двох варіантах:

- розрахунок рам на дії короткочасного навантаження при постійній жорсткості окремих ділянок стержнів;
- врахування фактору часу при дії довготривалих навантажень та змінної жорсткості в стержнях рам на кожному етапі нелінійного розрахунку.

На рисунку 8 приведено діаграми стану "σ-ε" та на рисунку 9 "N-χ" перерізу для ригеля залізобетонної рами при розрахунку за алгоритмом деформаційного методу на короткочасну дію навантаження 1 та на довготривалу дію навантаження 2.

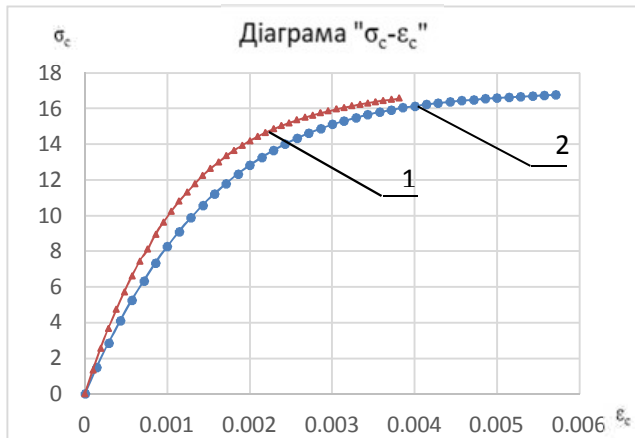


Рис. 8- Діаграма "σ-ε" при розрахунку перерізу ригеля на короткочасну - 1 та довготривалу - 2 дію навантаження / Diagram "σ-ε" of concrete deformation at short (1) and long term (2) load impact

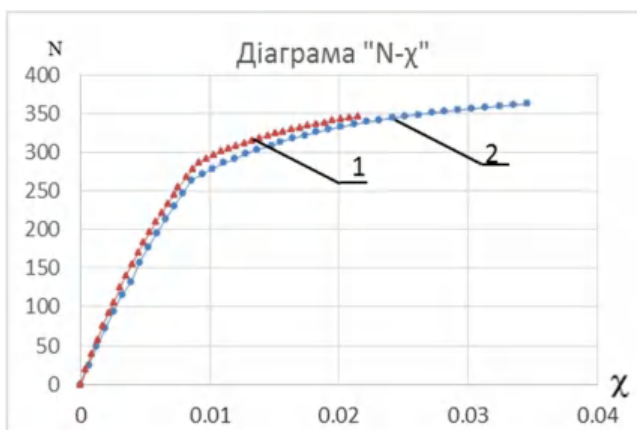


Рис. 9- Діаграма "N-χ" при розрахунку перерізу ригеля на короткочасну - 1 та довготривалу - 2 дію навантаження / Diagram "N-χ" of concrete deformation at short (1) and long term (2) load impact

Приведені на рисунку 8 діаграми стану ригелей залізобетонних рам отриманих на основі методики розрахунку при впливі фактору часу і на рисунку 7 діаграми "N-χ", демонструють, що при впливі довготривалих процесів з використанням трансформуваних в часі діаграм деформування бетону на несучі конструкції будинків соціального житла несуча спроможність, а отже ресурс та можливість додаткової надбудови (розширення) в майбутньому, збільшується.

Висновки

Порівняльний аналіз чотирьох КС та розрахунків рамних конструкцій зі змінною жорсткістю з використанням трансформованих в часі діаграм деформування бетону дозволяє зробити наступні висновки:

- збільшення потенціального ресурсу використання несучих конструкцій;
- можливість максимально використовувати несучу здатність конструкцій із зниженням витрат на виготовлення;
- отримані результати дозволяють зробити висновок, що запропонований розрахунковий апарат достатньо добре відображає, як чисельно так і якісно, моделює мий процес;
- каркасна система дозволяє достатньо вільне використання внутрішнього простору для організації планування індивідуального будинку;
- панельні варіанти утворюють більш «жорстку» планувальну структуру, але достатньо для первинного забезпечення житлом середньої за складом родини;
- всі чотири варіанти надають можливість подальшої реконструкції будинків шляхом надбудови, прибудови і збільшення комфортності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Соціальне житло в Україні: проблеми і перспективи [Текст] Д.В.Запатріна, О.Б.Лотоцький, О.В.Макухін, Ю.М.Манцевич, І.Г.Онищук. - К.: «Профі», 2007,- 262 с.
2. Розробити проектні пропозиції конструктивних систем будинків для швидкого відновлення житлового фонду населених пунктів, які постраждали внаслідок надзвичайних подій: Звіт про НДР (заклучи.) [Текст] /Наук.-дослід. ін-т будів. констр. (НДІБК); Керівник П.Кривошеев. - К., 2006.- 66 с.: - Відповід. викон. Г.Овсепян, Л.Кривельов.
3. Гольшев О.Б. Железобетонные конструкции. Том II / Гольшев О.Б., Бачинский В.Я., Полищук В.П. – К.: Логос, 2003.
4. Бамбура А.М. Метод «трех кривизн» для розрахунку нерозрізних залізобетонних балок / Бамбура А.М., Жданов О.С. // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: збірник наукових праць. - Львів, 2007. - Вип. 7.
5. Уманский А.А. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Расчетно-теоретический / Уманский А.А., 1960 г.

6. Гребенников М.Н. Расчёт многопролётных неразрезных балок. Уравнение трёх моментов / Гребенников М.Н., Дибир А.Г., Пекельный Н.И. // Министерство образования и науки. Национальный аэрокосмический университет им. Жуковского (ХАИ), 2010.
7. Барашиков А.Я. Расчет железобетонных конструкций на действие длительных переменных нагрузок. – К.: Будівельник, 1974.- 144 с.
8. Бамбура А.Н. К построению деформационной теории железобетона стержневых систем на экспериментальной основе / Бамбура А.Н., Гурковский А.Б. // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. - К.: ДП НДІБК, 2003. - №59. – С. 121-130.
9. Голышев А.Б., Кривошеев П.И., Бамбура А.Н.. Теория железобетона на экспериментальной основе. Киев: Гамма-Принт. 2009.
10. Деформаційна модель та алгоритм визначення напружено-деформованого стану розрахункового перерізу залізобетонних елементів / [Бамбура А.М., Гурківський О.Б., Безбожна М.С., Дорогова О.В.] // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов. - Вып. №50. - Днепропетровск: ПГАСА, 2009.
11. Бабич С.М., Мурашко Л.А., Ильчук Н.И. Перерозподіл зусиль та напружено-деформований стан залізобетонних рам при короткочасному навантаженні // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: Видавництво Національного університету водного господарства та природокористування, 2004. Випуск 11. – С. 123 – 133;
12. Konstantin Meskouris «Baudynamik- Modelle, Methoden, Praxisbeispiele». Ernst&Sohn 1999<http://darwin.bth.rwth-aachen.de/>
13. Eurocode 2: Worked examples. European concrete platform Available at <http://www.europeanconcrete.eu/>
14. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1 : General rules and rules for buildings 2004 Available at: <https://law.resource.org/>

REFERENCES

1. Sotsialne zhitlo v UkraYinI: problemi I perspektivi [Tekst] D.V.ZapatrIna, O.B.Lototskiy, O.V.MakuhIn, Yu.M.Mantsevich, I.G.Onischuk. - K.: «ProfI», 2007,- 262 s.
2. Rozrobiti proektInI propozitsiYi konstruktivnih sistem budinkIv dlya shvid-kogo vIdnovlennya zhitlovogo fondu naselenih punktIv, yakI postrazhdali vnaslIdok nadzvichaynih podIy: ZvIt pro NDR (zaklyuchi.) [Tekst] /Nauk.-do- slId. In-t budIv. konstr. (NDIBK); KerIvnik P.KrivosheEv. - K., 2006.- 66 s.: - VIdpovId. vikon. G.Ovsepyan, L.KrIvElov.
3. Golyishev O.B. Zhelezobetonnyie konstruksii. Tom II / Golyishev O.B., Bachinskiy V.Ya., Polischuk V.P. – K.: Logos, 2003.
4. Bambura A.M. Metod «troh krivizn» dlya rozrahunku nerozrIznih zalIzobetonnih balok / Bambura A.M., Zhdanov O.S. // MehanIka I fIzika ruynuvannya budIvelnih materIalIv ta konstruksiy: zbrInik naukovih prats. - LvIv, 2007. - Vip. 7.
5. Umanskiy A.A. Spravochnik proektirovshchika promyshlennyih, zhilyih i obschestvennyih zdaniy i sooruzheniy. Raschetno-teoreticheskiy / Umanskiy A.A., 1960 g.
6. Grebennikov M.N. RaschYot mnogoprolYotnyih nerazreznyih balok. Uravnenie trYoh momentov / Grebennikov M.N., Dibir A.G., Pekelnyiy N.I. // Ministerstvo obrazovaniya i nauki. Natsionalnyiy aerokosmicheskiy universitet im. Zhukovskogo (HAI), 2010.
7. Barashikov A.Ya. Raschet zhelezobetonnyih konstruksiy na deystvie dlitelnyih peremennyih nagruzok. – K.: BudIvelnik, 1974.- 144 s.
8. Bambura A.N. K postroeniyu deformatsionnoy teorii zhelezobetona sterzhnevyyih sistem na eksperimentalnoy osnove / Bambura A.N., Gurkovskiy A.B. // BudIvelnI konstruksiyI: zb. nauk. prats. - K.: DP NDIBK, 2003. - #59. – S. 121-130.
9. Golyishev A.B., Krivosheev P.I., Bambura A.N.. Teoriya zhelezobetona na eksperimentalnoy osnove. Kiev: Gamma-Print. 2009..
10. DeformatsIyna model ta algoritm viznachennya napruzhenno-deformovanogo stanu rozrahunkovogo pererIzu zalIzobetonnih elementIv / [Bambura A.M., Gurklvskiy O.B., Bezbozhna M.S., Dorogova O.V.] // Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie: sb. nauchn. trudov. - Vyip. #50. - Dnepropetrovsk: PGASA, 2009.
11. Babich E.M., Murashko L.A., Ilchuk N.I. PererospodIl zusil ta napruzhenno-deformovaniy stan zalIzobetonnih ram pri korotkochasnomu navantazhenI // ResursoekonomnI materIali, konstruksiyI, budIvIi ta sporudi: ZbrInik naukovih prats. – RIVne: Vidavnitstvo Natsionalnogo unIversitetu vodnogo gospodarstva ta prirodoekoristuvannya, 2004. Vipusk 11. – S. 123 – 133;
12. Konstantin Meskouris «Baudynamik- Modelle, Methoden, Praxisbeispiele». Ernst&Sohn 1999<http://darwin.bth.rwth-aachen.de/>
13. Eurocode 2: Worked examples. European concrete platform Available at <http://www.europeanconcrete.eu/>
14. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1 : General rules and rules for buildings 2004 Available at: <https://law.resource.org/>

Стаття постуила до редколегії 26.04.2017