

аварийности канализационных тоннелей и сооружений стремительно возрастает по сравнению с общеевропейским, поэтому вопрос оценки последствий разрушения канализационных тоннелей является актуальным и требует всестороннего исследования. Статья посвящена исследованию последствий возникновения аварий на канализационных туннелях. Представлены и обоснованы целеустремленность определения последствий возникновения аварийных ситуаций на канализационных туннелях в соответствии с нормативными документами. Классифицированы основные группы последствий, вызвано аварийными ситуациями, а именно выделено следующие группы: экологические, экономические, технические, социальные, инновационные. Предложена методика определения рангов последствий возникновения аварийной ситуации и с помощью разработанной авторами соответствующей шкалы рангов и системы их определения. Были определены основные критерии и диапазон их значений, по которым дают оценку в соответствии с ситуацией.

Ключевые слова: канализационный тоннель, износ, аварийная ситуация, последствия.

Starkova O., Aleinikova A., Bondarenko D. RESEARCH INTO THE CONSEQUENCES OF EMERGENCIES IN SEWER TUNNELS. The evaluation of the technical condition of the sewer systems in Ukraine have recently become a matter of national significance. Accident damage statistics in

recent years show that every year the accident rate of sewer tunnels and structures is growing rapidly compared to the European, so the question of assessing the consequences of the destruction of sewer tunnels is relevant and needs comprehensive study. The article is devoted to the study of the consequences of accidents in sewer tunnels and structures. The detailed analysis of tendencies of scientific interests and directions in the world according to a question of reliability of sewer networks is carried out. The main reasons for the destruction of sewer tunnels that provoke accidents have been studied. The classification of factors of their destruction on the following groups is offered: production factors; factors of durability of materials of a linear part of a network; organizational and technological factors; operational factors; factors of the external operating environment. The purposefulness of determining the consequences of emergencies in sewer tunnels in accordance with the regulations is substantiated. The main groups of consequences caused by emergencies are classified: ecological, economic, technical, social, innovative. A method for determining the ranks of the consequences of an emergency situation using the appropriate scale of ranks developed by the authors and the system for determining them is proposed. The main criteria and the range of their values were determined according to which an assessment is given and a rank is determined according to the emergency.

Keywords: consequences, corrosion, demolition, emergency, sewer tunnel.

DOI: 10.29295/2311-7257-2020-100-2-149-157

УДК 624:016

Шехоркіна С.Є., Нікіфорова Т.Д., Буцька О.Л.

Державний вищий навчальний заклад Придніпровська державна академія будівництва та архітектури (вул. Чернишевського, 24а, м. Дніпро, 49005, Україна; e-mail: S_VT@ukr.net; nikiforova_t@pgasa.dp.ua; helenochka@i.ua; orcid.org/0000-0002-7799-2250; orcid.org/0000-0002-0688-2759; orcid.org/0000-0002-4377-3746)

ОЦІНКА ВЕРТИКАЛЬНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ГІБРИДНИХ ДЕРЕВО-ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БУДІВЕЛЬ

Гібридні системи представляють собою раціональну комбінацію конструкцій з різних матеріалів. Останнім часом значної популярності набули гібридні будівлі, в яких переважна частина конструктивних елементів виконана з деревини, а просторова стабільність забезпечується залізобетонними діафрагмами або ядрами жорсткості. В статті розглянуті питання проектування гібридних багатоповерхових будівель в аспекті прогнозування поздовжніх переміщень, оскільки нерівномірне деформування може спричинити невідповідність критеріям експлуатаційної придатності (зокрема, появу тріщин в балках і плитах, пошкодження внутрішньо будинкових інженерних мереж, оздоблювальних матеріалів тощо). Метою дослідження є розробка та апробація спрощеного методу визначення вертикальних переміщень несучих конструкцій дерево-залізобетонних гібридних будівель, який враховує вплив деформацій повзучості. Для апробації запропонованого методу проведено розрахунки переміщень колон та діафрагми жорсткості для поперечної рами 10-ти та 15-ти поверхової будівлі. Виконано порівняльний аналіз результатів з даними скінчено елементного моделювання в програмному комплексі «ЛІРА». Отримані дані підтвердили достатню точність спрощеного методу, різниця в отриманих результатах не перевищує 5% для дерев'яних елементів та 10% для залізобетонних. Проведено оцінку впливу деформацій повзучості на величину вертикальних переміщень протягом терміну експлуатації будівлі. Надані рекомендації щодо врахування впливу реологічних властивостей на напружено-деформований стан конструкцій багатоповерхових дерево-залізобетонних будівель. Практичне значення результатів дослідження полягає

у зменшенні трудовитрат при прогнозуванні вертикальних переміщень та оцінці ступеню їх впливу на експлуатаційні характеристики на початкових етапах проектування гібридних дерево-залізобетонних будівель.

Ключові слова: вертикальне переміщення; гібридна будівля; деревина; залізобетон; повзучість.

Вступ. Останні дослідження [1-3] показали, що застосування деревини як екологічно безпечного, поновлюваного та придатного до рециклінгу будівельного матеріалу може стати ключем до вирішення проблем створення безпечного для людини та навколишнього середовища, що відповідатиме критеріям стійкого розвитку [4] та циркулярної економіки [5]. На сьогоднішній день поряд з традиційними малоповерховими будівлями та спорудами, в світі з'являються багатоповерхові та розробляються проекти висотних будівель, в яких переважна більшість несучих конструкцій виконана з деревини та інженерних виробів на її основі. Серед вже реалізованих проектів слід відзначити будівлю Treet (14 поверхів, Норвегія [6]), Mjøstårnet (18 поверхів, Норвегія [7]), Brock Commons (18 поверхів, Канада [8]) та інші. Розробляються проекти будівель до 30 поверхів (Tall Wood [9]). Конструктивна система таких будівель є гібридною, тобто раціонально поєднує властивості різних матеріалів (деревини, залізобетону та сталі).

Однією з проблем при проектуванні гібридних багатоповерхових будівель є нерівномірне поздовжнє деформування, тобто послідовні нерівномірні зміни довжини в суміжних вертикальних елементах, які викликають спотворення геометрії конструкції (рис. 1). У висотних будівлях із одного матеріалу (наприклад, бетону або металу) нерівномірне укорочення елементів виникає внаслідок різниці в розмірах поперечного перерізу і проявляється при значній висоті [10]. Що стосується гібридних дерево-залізобетонних конструктивних систем, нерівномірне деформування вертикальних конструкцій істотно відчутне вже для 7-10 поверхів [11, 12]. Це обумовлено застосування матеріалів з різними деформаційними та реологічними характеристиками (наприклад, модулі пружності деревини та бетону відрізняються більше ніж у 2 рази).

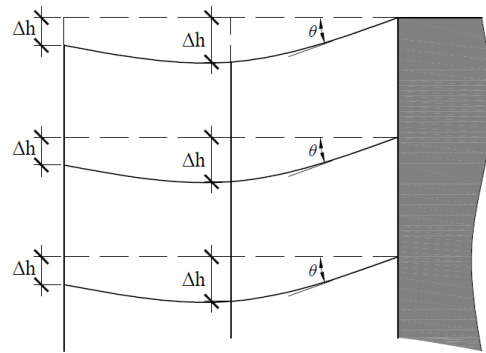


Рис. 1. Нерівномірне деформування вертикальних несучих конструкцій

Незважаючи на те, що дане явище не впливає на несучу здатність вертикальних елементів, воно може створити численні проблеми з експлуатаційною придатністю будівлі, такі як нахил перекриттів, тріщини в балках і плитах на верхніх поверхах, пошкодження навісних стін і оздоблювальних матеріалів тощо. Нерівномірне деформування вертикальних конструкцій спричиняє виникнення додаткових поздовжніх зусиль в елементах перекриття, внаслідок перерозподілу зусиль між елементами каркасу.

Щоб уникнути проблем, пов'язаних з нерівномірним деформуванням, зменшення довжини вертикальних несучих конструкцій внаслідок пружних і нелінійних деформацій необхідно достовірно прогнозувати, мінімізувати і розробляти заходи щодо їх компенсації. Вирішенню цих питань в галузі залізобетонних і сталевих висотних будівель присвячені дослідження [11, 12]. Визначенню величин укорочень колон багатоповерхових дерево-бетонних будівель на прикладі реального об'єкта розглянуто в роботах [8, 13, 14], проте ці дослідження не враховують вплив деформацій внаслідок повзучості. Таким чином, питання прогнозування деформацій елементів гібридних будівель на даний час висвітлені недостатньою мірою.

Для точного визначення величини вертикальних переміщень в даний час можливо застосування програмних комплексів на основі методу скінченних

елементів. Однак, з метою мінімізації трудовитрат на попередніх етапах проектування більш доцільно використовувати наближені методи розрахунку. У зв'язку з вищевикладеним, метою дослідження є розробка та апробація спрощеного методу визначення вертикальних переміщень несучих конструкцій дерево-залізобетонних гібридних будівель.

Матеріали і методи досліджень.

Конструктивна система гібридних багатоповерхових будівель складається з колон та балок з клеєної деревини, а також залізобетонних діафрагм або ядра жорсткості,

які забезпечують просторову жорсткість. На рис. 2 приведено загальний вигляд поперечної рами, навантаження та деформовану схему колони.

Вертикальні переміщення Δh_i елементів каркасу виникають внаслідок дії навантаження N_i , яке складається з власної ваги, ваги конструкцій перекриття, корисного та снігового навантаження. Наведені впливи спричиняють деформації, які поступово накопичуються від опорного вузла і досягають максимального значення у верхній точці каркасу.

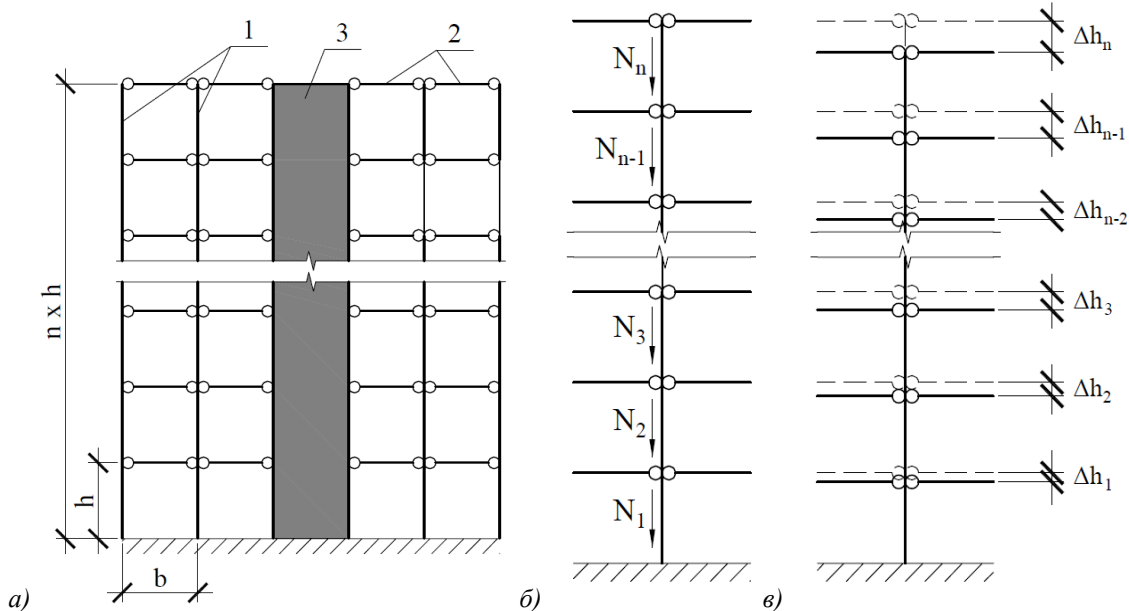


Рис. 2. До визначення вертикальних переміщень несучих конструкцій: а) схема поперечної рами; б) навантаження на колону; в) деформована схема колони; 1 – колони; 2 – балки; 3 – діафрагма або ядро жорсткості; b – розмір прольоту; h – висота поверху; n – кількість поверхів; $N_1 \dots N_n$ – навантаження на колону; $\Delta h_1 \dots \Delta h_n$ – вертикальне переміщення

Згідно закону Гука величину вертикальних переміщень елемента i -го поверху можна визначити за формулою:

$$\Delta h_i = \varepsilon_i \cdot h, \quad (1)$$

де ε_i – відносна деформація колони i -го поверху; h – висота поверху, для якого визначається величина переміщень.

Відносна деформація колони i -го поверху дорівнює сумі деформацій колони поверху, для якого визначається величина переміщень, та всіх нижче розташованих колон:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \dots + \varepsilon_n. \quad (2)$$

Для визначення відносних деформацій бетону та клеєної деревини при

короткочасних навантаженнях скористаємося спрощеними дволінійними діаграмами напружено-деформованого стану (рис. 3), які описуються наступними виразами:

- для бетону

$$\sigma_c = \begin{cases} E_{cd} \varepsilon & \text{при } \varepsilon \leq \varepsilon_{c3}; \\ f_{cd} & \text{при } \varepsilon > \varepsilon_{c3} \end{cases}, \quad (3)$$

- для деревини

$$\sigma_{c,t} = \begin{cases} E_0 \varepsilon & \text{при } \varepsilon \leq \varepsilon_{t,u} = \frac{f_{c,m,0}}{E_0} \\ f_{c,m,0} & \text{при } \varepsilon > \varepsilon_{t,u} \frac{f_{c,m,0}}{E_0} \end{cases}, \quad (4)$$

де σ_c , $\sigma_{c,t}$ – напруження при стисканні бетону та деревини, відповідно; ε_c , ε_t – деформації бетону та деревини, відповідно; ε_{c3} ,

$\varepsilon_{t,u}$ – граничні деформації бетону та деревини, відповідно; f_{cd} – міцність бетону на стиск; $f_{c,m,0}$ – міцність деревини на стиск паралельно волокнам; E_{cd} – модуль пружності бетону; E_0 – модуль пружності деревини паралельно волокнам;

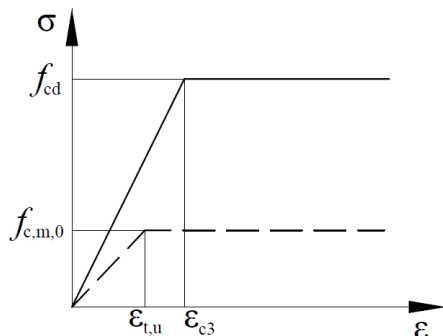


Рис. 3. Дволінійні діаграми напружено-деформованого стану для бетону та деревини

Виходячи з діаграм, деформації можуть бути визначені за формулою:

$$\varepsilon_n = \frac{N_n}{EA}, \quad (5)$$

де E – модуль пружності матеріалу; A – площа поперечного перерізу конструкції.

Повні переміщення колон обумовлені впливом деформаційних характеристик матеріалу як при короткочасних діях (пружні деформації, так і при довготривалих, які викликають повзучість.

Згідно чинних норм [15, 16], повзучість враховується шляхом заміни модуля пружності E_i (E_{cd} або E_0) на ефективний модуль пружності:

$$E_{i,eff}(t) = \frac{E_i}{1 + \phi_{cr}}, \quad (6)$$

де ϕ_{cr} – коефіцієнт повзучості бетону або деревини.

В нормах [15, 17] коефіцієнт повзучості бетону позначається $\phi(t, t_0)$ і дорівнює

$$\phi(t, t_0) = \phi_0 \beta_c(t, t_0), \quad (7)$$

де ϕ_0 – теоретичний коефіцієнт повзучості:

$$\phi_0 = \phi_{RH} \beta(f_{cm}) \beta(t_0), \quad (8)$$

ϕ_{RH} – коефіцієнт, що враховує вплив відносної вологості; $\beta(f_{cm})$ – коефіцієнт, що враховує міцність бетону; $\beta(t_0)$ – коефіцієнт, що враховує вік бетону при навантаженні; $\beta_c(t, t_0)$ – коефіцієнт, що описує розвиток повзучості протягом часу:

$$\beta_c(t, t_0) = \left(\frac{t - t_0}{\beta_H + (t - t_0)} \right)^{0.3}, \quad (9)$$

t_0 – вік бетону в момент навантаження; t – вік бетону в поточний момент; β_H – коефіцієнт, що залежить від відносної вологості та умовного розміру елемента.

Для врахування повзучості деревини може бути застосована модель, приведена в роботі [17]:

$$\phi_t(t - t_0) = \phi_{tc}(t - t_0) + \phi_{tms}(t - t_0), \quad (10)$$

де ϕ_{tc} – коефіцієнт повзучості:

$$\phi_{tc}(t - t_0) = \left(\frac{t - t_0}{t_d} \right)^m; \quad (11)$$

ϕ_{tms} – коефіцієнт, що враховує сорбційні властивості деревини:

$$\phi_{tms}(t - t_0) = \phi^\infty \left(1 - e^{-c \frac{2\Delta u}{100\Delta t}(t - t_0)} \right), \quad (12)$$

Δu – амплітуда зміни вологості протягом року (%); Δt – проміжок часу, який відповідає зміні вологості (365 днів); t_d , m , ϕ^∞ та c – емпіричні коефіцієнти ($t_d=29500$ днів, $m=0.21$, $\phi^\infty=0.7$, $c=2.5$).

Для верифікації запропонованого методу оцінки вертикальних переміщень несучих конструкцій будівлі гібридної системи було проведено аналіз поперечних рам 10-ти та 15-ти поверхової будівлі. Довжина прольоту прийнята 5 м, висота поверху - 3 м. Вузли сполучення між горизонтальними і вертикальними несучими елементами - шарнірні. Для забезпечення просторової жорсткості варіанту з шарнірними вузлами сполучення застосовано діафрагму жорсткості, що розташована в середньому прольоті. Для оцінки достовірності отриманих результатів було виконано моделювання розглянутих варіантів з використанням програмного комплексу «ЛПРА».

Дерев'яні елементи (колони та балки) будівлі були прийняті з класної деревини класу міцності GL28h. Розміри поперечного перерізу нес

учих конструкцій становили: колон – 500×500 мм; балок – 250×500 мм. Характеристики деревини: $f_{c,m,0} = 26.5$ МПа, $E_0=12.6$ ГПа. Діафрагма жорсткості виконана із залізобетону класу C20/25

товщиною 250 мм. Характеристики бетону: $f_{cd} = 14.5 \text{ МПа}$, $E_{cd} = 23 \text{ ГПа}$.

На елементи рами були прийняті наступні навантаження: власна вага колони одного поверху 1.97 кН; власна вага діафрагми одного поверху 156.25 кН; погонне навантаження від власної ваги балки 0.512 кН/м; погонне навантаження від власної ваги та корисного навантаження на перекриття з урахуванням ширини вантажної площі 5 м - 7.5 кН/м.

Величина переміщень з урахуванням деформацій повзучості визначалась через 1, 10 та 50 років. Відповідні коефіцієнти повзучості та модулі пружності матеріалів приведені в табл. 1.

Результати дослідження. В результаті проведених розрахунків та моделювання поперечних рам були отримані значення вертикальних переміщень в пружній стадії та з урахуванням повзучості для середньої, крайньої колони та діафрагми жорсткості. В якості ілюстрації

отриманих даних приведені величини вертикальних переміщення колон (табл. 2, 3) та графіки зміни вертикальних переміщень (рис. 4) діафрагми 10-ти та 15-ти поверхової будівлі. Максимальні вертикальні переміщення з урахуванням повзучості на прикладі колон середнього ряду приведені на рис. 5.

Обговорення результатів. Як показали результати проведеного аналізу, теоретичні переміщення колон відрізняються від визначених із застосуванням розрахункового комплексу «ЛІРА» на 4.75 – 5.0 % для середнього ряду та на 3.59 – 4.07 % для крайнього. Різниця в отриманих значеннях для діафрагми жорсткості не перевищує 10%.

В існуючих на даний момент розробках та дослідженнях в галузі багатоповерхових дерево-залізобетонних будівель застосовуються пружно-лінійні залежності роботи для деревини та нелінійні діаграми деформування бетону.

Таблиця 1 - Коефіцієнти повзучості φ_{ct} , модулі пружності бетону E_{cd} та деревини E_0

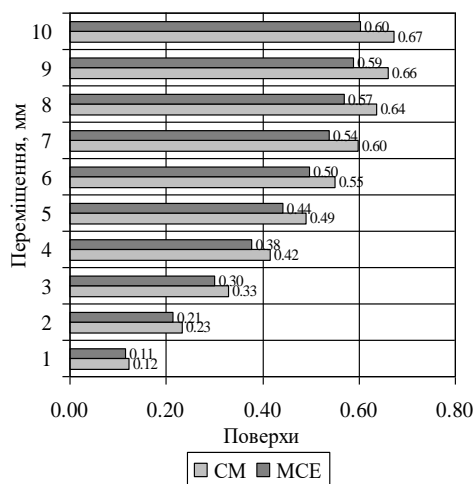
Матеріал	Характеристика	Значення характеристик з урахуванням повзучості через		
		1 рік	10 років	50 років
Бетон	$\varphi(t, t_0)$	1.67	2.15	2.23
	E_{cd} , ГПа	8.61	7.3	7.11
Деревина	$\varphi(t-t_0)$	0.2	0.48	0.6
	E_0 , ГПа	10.5	8.51	7.87

Таблиця 2 - Вертикальні переміщення колон 10-ти поверхової будівлі

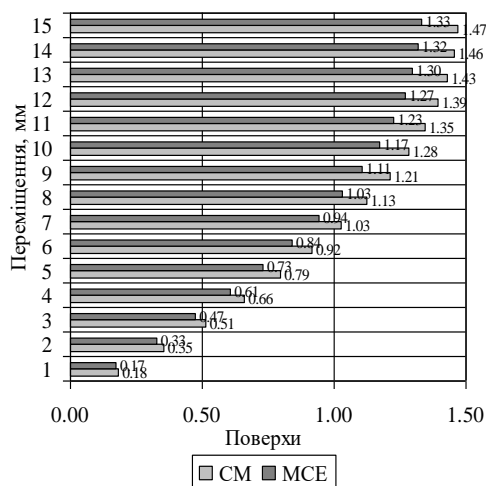
Номер поверху	Переміщення, мм					
	колона середнього ряду			колона крайнього ряду		
	СМ	МСЕ	%	СМ	МСЕ	%
1	-0.664	-0.632	4.82	-0.346	-0.333	3.73
2	-1.261	-1.200	4.83	-0.658	-0.633	3.75
3	-1.791	-1.705	4.84	-0.935	-0.900	3.78
4	-2.256	-2.146	4.86	-1.178	-1.133	3.80
5	-2.654	-2.525	4.88	-1.386	-1.332	3.83
6	-2.986	-2.840	4.89	-1.559	-1.498	3.87
7	-3.251	-3.091	4.91	-1.697	-1.631	3.91
8	-3.450	-3.280	4.94	-1.801	-1.730	3.96
9	-3.583	-3.405	4.97	-1.871	-1.796	4.01
10	-3.649	-3.467	5.00	-1.905	-1.828	4.07

Таблиця 3 - Вертикальні переміщення колон 15-ти поверхової рами

Номер поверху	Переміщення, мм					
	колонна середнього ряду			колонна крайнього ряду		
	СМ	МСЕ	%	СМ	МСЕ	%
1	-0.995	-0.948	4.75	-0.520	-0.501	3.59
2	-1.924	-1.833	4.75	-1.005	-0.968	3.60
3	-2.787	-2.654	4.76	-1.455	-1.402	3.61
4	-3.583	-3.412	4.76	-1.871	-1.803	3.62
5	-4.313	-4.107	4.77	-2.252	-2.170	3.63
6	-4.976	-4.739	4.78	-2.598	-2.503	3.64
7	-5.574	-5.307	4.78	-2.910	-2.803	3.66
8	-6.104	-5.812	4.79	-3.187	-3.070	3.67
9	-6.569	-6.253	4.80	-3.429	-3.303	3.69
10	-6.967	-6.632	4.81	-3.637	-3.502	3.71
11	-7.299	-6.947	4.82	-3.810	-3.668	3.73
12	-7.564	-7.199	4.83	-3.949	-3.801	3.75
13	-7.763	-7.387	4.84	-4.053	-3.900	3.78
14	-7.896	-7.512	4.86	-4.122	-3.965	3.80
15	-7.962	-7.574	4.88	-4.157	-3.997	3.83

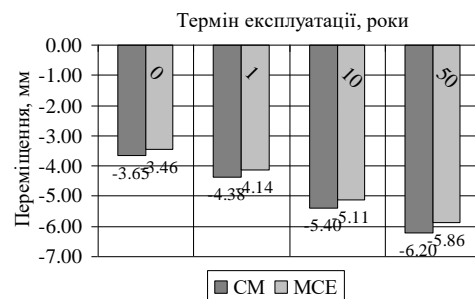


а

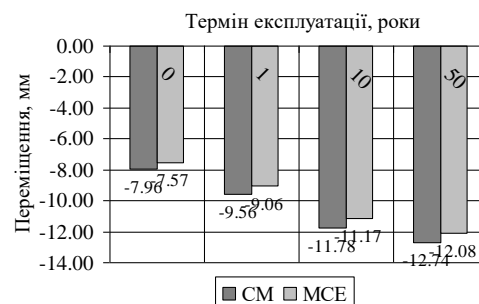


б)

Рис. 4. Діаграма зміни вертикальних переміщень діафрагми а) 10-ти та б) 15-ти поверхової будівлі



а)



б)

Рис. 5. Максимальні вертикальні переміщення колон середнього ряду: а) 10-ти та б) 15-ти поверхової будівлі з урахуванням повзучості

Проте отримані з урахуванням повзучості дані свідчать про те, що реологічні властивості істотно впливають на величину переміщень елементів каркасу. Порівняно із результатами аналізу в пружній стадії переміщення збільшуються в 1.2 рази через 1 рік, в 1.48 разів через 10 років та в 1.6 раз через 50 років. З цього можна

зробити висновок, що при проектуванні багатоповерхових дерево-залізобетонних будівель необхідно враховувати вплив деформацій повзучості.

Розрахункові переміщення з урахуванням деформацій повзучості, отримані за спрощеною методикою, на 4.9 – 5.5 % більше, ніж значення за результатами скінченноелементного моделювання в ПК «ЛІРА».

Таким чином, запропонований спрощений метод дає можливість з достатньою точністю визначати вертикальні переміщення несучих конструкцій будівлі гібридної системи, які складаються з колон з клеєної деревини та залізобетонних елементів просторової жорсткості.

Висновки. Нерівномірне поздовжнє деформування виникає внаслідок істотної різниці в зміні довжини в суміжних вертикальних елементах під дією навантаження. Негативні наслідки полягають в потенційних проблемах з експлуатаційною придатністю будівлі, а також виникненні додаткових поздовжніх зусиль в елементах перекриття внаслідок перерозподілу зусиль між елементами каркасу.

Для визначення вертикальних переміщень несучих конструкцій багатоповерхових будівель гібридної системи запропоновано спрощений метод, який враховує залежності деформування, а також характеристики повзучості деревини та бетону.

Верифікація запропонованого методу виконана шляхом порівняльний аналізу результатів, отриманих шляхом спрощеного розрахунку та скінченноелементного моделювання із застосуванням програмного комплексу «ЛІРА» поперечних рам 10-ти та 15-ти поверхової будівлі. Різниця в отриманих величинах склала 4.75 – 5.0 % для колон середнього ряду, 3.59 – 4.07 % для крайнього та в межах 10% для діафрагми жорсткості.

Аналіз з урахуванням повзучості показав, що вертикальні переміщення протягом терміну експлуатації 50 років збільшуються 1.6 раз, що свідчить про необхідність врахування впливу реологічних властивостей на напружено-деформований

стан конструкцій багатоповерхових дерево-залізобетонних будівель.

Практичне значення запропонованої методики полягає у можливості її застосування на початкових етапах проектування гібридних дерево-залізобетонних будівель з метою прогнозування вертикальних переміщень та оцінки ступеню їх впливу на експлуатаційні характеристики.

Подальшим напрямком досліджень в даній галузі є розробка конструктивних заходів, спрямованих на зменшення впливу та компенсацію нерівномірного деформування вертикальних несучих конструкцій.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Тесленко В.А. Інноваційні будівельні технології в промисловому будівництві. *Науковий вісник будівництва*. 2019. Т. 1. № 2 (92). С. 180-185.
2. Благостова О.О., Печерцев О.О. Використання традиційних та новітніх будівельних технологій при проектуванні екологічних поселень. *Науковий вісник будівництва*. 2019. Т. 98, № 4. С. 187-192.
3. Михайловський Д.В. Світовий досвід і перспективи розвитку багатоповерхового будівництва з деревини. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса. 2016. Вип. 61. С. 270-277.
4. Du Pisani J. Sustainable development – historical roots of the concept. *Environmental Sciences*. 2006. Volume 3. Issue 2. pp. 83-96. doi.org/10.1080/15693430600688831
5. *Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy*. URL: <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2015-0614-final>
6. Malo K.A., Abrahamsen R.B., Bjertnæs M.A. Some structural design issues of the 14-storey timber framed building “Treet” in Norway. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2016. Vol. 74. pp. 407-424. doi.org/10.1007/s00107-016-1022-5.
7. About Mjøstårnet. URL: <https://www.moelven.com/mjostarnet/>.
8. Tannert T., Moudgil M. Structural Design, Approval, and Monitoring of a UBC Tall Wood Building. *Structures Congress 2017*. 2017. pp. 541-547. doi.org/10.1061/9780784480410.045.
9. Green M. *The case for Tall Wood buildings*. MGB, 2012. 240 p. URL: <https://www.trae.dk/wp-content/uploads/2012/05/tall-wood-buildings-final-report.pdf>.
10. Samarakkody D. I., Thambiratnam D. P., Chan T. H. T., Moragasipitiya P. H. N. Differential axial shortening and its effects in high rise buildings with composite concrete filled tube columns. *Construction and Building Materials*.

2017. Vol. 143., pp. 659-672. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.091.
11. Yi T., Tong X. Differential Column Shortening Effects in Typical Medium-to High-Rise Buildings. *Structures Congress 2007*. California: Long Beach, 2007. doi.org/10.1061/40946(248)97
12. Park H. S. Optimal compensation of differential column shortening in high-rise buildings. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*. 2003. Vol. 12 (1). pp. 49-66. doi.org/10.1002/tal.212
13. Slooten E. C. *Feasibility study of a wood-concrete hybrid super tall building and optimization of its wind-induced behaviour: Master Thesis*. Delft: Delft University of Technology, 2018. 273 p. URL: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:01da1849-6478-46c9-8a59-e6c7c2e4fb47>.
14. Willebrands O. *Differential Vertical Shortening in Timber-Concrete High-rise Structures: Master Thesis*. Delft: Delft University of Technology, 2017. 205 p. URL: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:7c3367c2-8700-4704-b913-bf0e957ab5b4>.
15. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. [чинні від 2011-01-07]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 71 с.
16. ДБН В.2.6-161:2017. Дерев'яні конструкції. Основні положення. [чинні від 2018-01-02]. Київ: Мінрегіон України, 2017. 111 с.
17. EN 1992-1-1:2004. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. European Committee for Standardization (CEN). Brussels, 2004. 227 p.
18. Fragiaco M., Ceccotti. A. Simplified approach for the long-term behaviour of timber-concrete composite beams according to the Eurocode 5 provisions. *Proceedings of the 39th Meeting of W018 on Timber Structures*. Italy: Florence, 2006. Vol. 39-9-1. URL: <http://hdl.handle.net/10092/18>.
- REFERENCES:
1. Teslenko V.A. Innovatsiini budivelni tekhnolohii v promyslovomu budivnytstvi [Innovative construction technologies in industrial construction]. *Naukovyi visnyk budivnytstva*. 2019 vol. 92. № 2. pp. 180-185.
2. Blahovestova O.O., Pechertsev O.O. Vykorystannia tradytsiinykh ta novitnykh budivelnnykh tekhnolohii pry proektuvanni ekolohichnykh poselen [The use of traditional. and modern construction technologies in the design of ecological settlements]. *Naukovyi visnyk budivnytstva*. 2019. vol. 98. № 4. pp. 187-1925.
3. Mykhailovskyi D.V. Svitovyi dosvid i perspektyvy rozvytku bahatopoverkhovoho budivnytstva z derevyyny [World experience and prospects for the development of multi-storey wooden construction]. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*. Odesa, 2016. Vol. 61. pp. 270-277.
4. *Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy*. Available: <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2015-0614-final>.
5. Malo K.A., Abrahamsen R.B., Bjertnæs M.A. Some structural design issues of the 14-storey timber framed building "Treet" in Norway. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2016. vol. 74. pp. 407-424. doi.org/10.1007/s00107-016-1022-5.
6. *About Mjøstårnet*. Available: <https://www.moelven.com/mjostarnet/>.
7. Tannert T., Moudgil M. Structural Design, Approval, and Monitoring of a UBC Tall Wood Building. *Structures Congress 2017*, 2017. pp. 541-547. doi.org/10.1061/9780784480410.045.
8. Green M. *The case for Tall Wood buildings*. MGB, (2012. 240 p. Available: <https://www.trae.dk/wp-content/uploads/2012/05/tall-wood-buildings-final-report.pdf>.
9. Samarakkody D. I., Thambiratnam D. P., Chan T. H. T., Moragasipitiya P. H. N. Differential axial shortening and its effects in high rise buildings with composite concrete filled tube columns. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 143. pp. 659-672. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.091.
10. Yi T., Tong X. Differential Column Shortening Effects in Typical Medium-to High-Rise Buildings. *New Horizons and Better Practices*. 2007. doi.org/10.1061/40946(248)97.
11. Park H. S. Optimal compensation of differential column shortening in high-rise buildings. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*. 2003. Vol. 12(1). pp. 49-66. doi.org/10.1002/tal.212.
12. Slooten E. C. *Feasibility study of a wood-concrete hybrid super tall building and optimization of its wind-induced behaviour (Master Thesis)*, 2018. Delft: Delft University of Technology, 273 p. Available: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:01da1849-6478-46c9-8a59-e6c7c2e4fb47>.
13. Willebrands O. *Differential Vertical Shortening in Timber-Concrete High-rise Structures (Master Thesis)*. Delft: Delft University of Technology, 2017. 205 p. Available: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:7c3367c2-8700-4704-b913-bf0e957ab5b4>.
14. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення [Concrete and reinforced concrete structures. General aspects] [Valid from 2011-01-07]. Kyiv: Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2011. 71 p.
15. ДБН В.2.6-161:2017. Дерев'яні конструкції. Основні положення [Timber structures. General aspects] [Valid from 2018-01-02]. Kyiv: Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2017. 111 p.
16. EN 1992-1-1:2004 (2004) Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. European Committee for Standardization (CEN). Brussels. 227 p.

17. Fragiaco M., Ceccotti. A. Simplified approach for the long-term behaviour of timber-concrete composite beams according to the Eurocode 5 provisions. *Proceedings of the 39th Meeting of W018 on Timber Structures*. Italy: Florence, 2006. Vol. 39-9-1. Available: <http://hdl.handle.net/10092/18>.

Шехоркина С.Е., Никифорова Т.Д., Буцкая Е.Л. ОЦЕНКА ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ГИБРИДНЫХ ДЕРЕВО-ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЗДАНИЙ. Гибридные системы представляют собой рациональную комбинацию конструкций из различных материалов. В последнее время большую популярность приобрели гибридные здания, в которых преобладающая часть конструктивных элементов выполнена из древесины, а пространственная стабильность обеспечивается железобетонными диафрагмами или ядрами жесткости. В статье рассмотрены вопросы проектирования гибридных многоэтажных зданий в аспекте прогнозирования продольных перемещений, поскольку неравномерное деформирование может вызвать несоответствие критериям эксплуатационной пригодности (в частности, появление трещин в балках и плитах, повреждения внутридомовых инженерных сетей, отделочных материалов и т.д.). Целью исследования является разработка и апробация упрощенного метода определения вертикальных перемещений несущих конструкций дерево-железобетонных гибридных зданий, который учитывает влияние деформаций ползучести. Для апробации предложенного метода проведены расчеты перемещений колонн и диафрагмы жесткости для поперечной рамы 10-ти и 15-ти этажного здания. Выполнен сравнительный анализ результатов с данными конечноэлементного моделирования в программном комплексе «ЛИРА». Полученные данные подтвердили достаточную точность упрощенного метода, разница в полученных результатах не превышает 5% для деревянных элементов и 10% для железобетонных. Проведена оценка влияния деформаций ползучести на величину вертикальных перемещений в течение срока эксплуатации здания. Даны рекомендации по учету влияния реологических свойств на напряженно-деформированное состояние конструкций многоэтажных дерево-железобетонных зданий. Практическое значение результатов исследования заключается в уменьшении трудозатрат при

прогнозировании вертикальных перемещений и оценки степени их влияния на эксплуатационные характеристики на начальных этапах проектирования гибридных дерево-железобетонных зданий.

Ключевые слова: вертикальное перемещение; гибридное здание; древесина; железобетон; ползучесть.

Shekhorkina S. Yev., Nikiforova T. D., Butska O. L. EVALUATION OF VERTICAL DISPLACEMENTS OF HYBRID TIMBER-REINFORCED CONCRETE BUILDINGS. Hybrid systems are a rational combination of structures made of different materials. Recently, hybrid buildings have become quite popular. Most of the structural elements in such buildings are made of wood, and spatial stability is provided by reinforced concrete diaphragms or stiffness cores. The article considers the design of hybrid multi-storey buildings in terms of forecasting the longitudinal displacements, as uneven deformation can lead to non-compliance with the criteria of serviceability (in particular, cracks in beams and slabs, damage to indoor engineering networks, finishing materials, etc.). The aim of the study is to develop and verify a simplified method for determining the vertical displacements of load-bearing structures of timber-reinforced concrete hybrid buildings, which takes into account the effect of creep deformation. To test the proposed method, the calculations of the displacements of the columns and the stiffness diaphragm for the frame of 10- and 15-storey buildings were performed. A comparative analysis of the results with the data of finite element modeling in the software package "LIRA" was done. The obtained data confirmed the sufficient accuracy of the simplified method, the difference in the obtained results does not exceed 5% for timber elements and 10% for reinforced concrete ones. The influence of creep deformations on the value of vertical displacements during the service life of the building is estimated. Recommendations for taking into account the influence of rheological properties on the stress-strain state of structures of multi-storey wood-reinforced concrete buildings are given. The practical significance of the results of the study is the reducing the labor input in prognosis of the vertical displacements and assessing the degree of their impact on the performance of the hybrid timber-reinforced concrete buildings at the initial stages of the design.

Keywords: vertical displacements; hybrid building; timber; reinforced concrete; creep.