

УДК 624.012.45:624.042.2;

Срібняк Н.М., к.т.н, доцент кафедри будівельних конструкцій, Сумський національний аграрний університет

Циганенко Л.А., к.т.н, доцент кафедри будівельних конструкцій, Сумський національний аграрний університет

Циганенко Г.М., старший викладач кафедри будівельних конструкцій, Сумський національний аграрний університет

Івченко В.Д., к.т.н, доцент кафедри терапії, фармакології, клінічної діагностики та хімії, Сумський національний аграрний університет

СПІЛЬНА РОБОТА ПЛИТ В ЯЧЕЙЦІ ПЕРЕКРИТТЯ

Анотація Залізобетонні конструкції перекриттів та покриттів становлять близько 20% вартості всієї будівлі. Ці конструкції є досить матеріаломісткими та працемісткими оскільки на них припадає близько 30–40% бетону й сталі, що використовуються при зведенні будівлі. Окрім функцій розмежування та несення навантаження перекриття являють собою горизонтальні діафрагми жорсткості будівлі. Також вони перерозподіляють зусилля від горизонтального вітрового навантаження між вертикальними елементами будівлі та нівелюють напруження, що виникають від неточності монтажу.

Тому проектування цих конструкцій перекриттів повинно базуватися на експериментально-теоретичних дослідженнях дійсних умов їх роботи та взаємодії в складі будівель та споруд; розробці на цій основі вдосконалених методів розрахунку, що враховують їх просторову роботу.

Моделювання дійсних умов роботи конструкцій забезпечується створенням розрахункової схеми, яка враховує сумісну роботу всіх елементів будівлі чи споруди. Метод кінцевих елементів, який реалізується в багатьох сучасних програмних комплексах, дозволяє більш точно моделювати розрахункові схеми конструкцій та враховувати їх сумісну роботу. В статті розглянуто та змодельовано декілька умов, за яких відбувається перерозподіл

внутрішніх зусиль та напружень. Встановлено, що зусилля в окремих плитах змінюються значним чином при завантаженні окремої плити локальним навантаженням чи міні умов спирання на стіни однієї з плит ячейки перекриття. Окрім зміни та перерозподілу моментів вигину значною мірою збільшуються крутні моменти в окремих елементах ячейки при зміні умов спирання ячейки перекриття.

Наявність та величина моментів кручення при традиційному проектуванні не враховується. В роботі доведено факт спільної роботи збірних плит перекриття, що з'єднані між собою швом замоноличення та анкерним елементами, в ячeyці перекриття. Врахування спільної роботи дозволяє більш точно визначати зусилля в елементах ячейки, а значить, більш раціонально проектувати ці елементи.

Ключові слова: плита, перекриття, напруження, зусилля, шпонка

Nataliia M. Sribniak, Liudmyla A. Tsyhanenko, Hennadii M. Tsyhanenko, Viktoriia D. Ivchenko

THE JOINT BEHAVIOR OF PREFABRICATED FLOOR SLABS IN A LOCATION

Keywords: slab, overlap, stress, internal forces, key

Abstract. Reinforced concrete structures of floors and roof slabs account for more than 20% of the total cost of a building. These structures are quite material-intensive and labor-intensive because they account for about 30–40% of concrete and steel used in the construction of the building.

Floor slabs are load bearing constructions as well as horizontal diaphragms of rigidity of the building.

They also redistribute the internal forces from the horizontal wind load between the vertical elements of the building (the columns) and level the stresses arising because of mounting misalignment.

Therefore, the design of these floor structures should be based on experimental and theoretical researches of the actual conditions of their work, on buildings and constructions interaction and improved design methods, which takes into account their spatial behavior.

Modeling of actual working conditions of structures is provided by an analytical modeling, which takes into account combined actions of all elements of the building or construction. The finite element method (FEM) is implemented in many modern software packages. FEM allows more accurate modeling of the analytical models of structures and takes into account their joint behavior.

Several conditions of redistribution of internal forces and stresses are considered and modeled in the article. It is found, that the internal forces in separate floor slabs change significantly because of loading a separate floor slab with local load. The slab-wall junction by long side also leads to a change of the internal forces in the floor slabs. When changing the conditions of slab-wall junction, the torques in the separate slabs increase significantly. In traditional design Torque and its values are not taken into account.

The article proves the joint behavior of prefabricated floor slabs interconnected by a self-locking seam and anchor elements in the floor cell. Taking into account the joint work allows us to determine the effort in the cell elements more accurately and, therefore, to design these elements more rationally.

1. Постановка проблеми. У складі будівель перекриття та покриття виконують важливі функції: несуть вертикальні навантаження; беруть участь в забезпеченні просторової жорсткості будівлі, виконуючи функції горизонтальних діафрагм жорсткості, та перерозподіляючи між вертикальними елементами зусилля від вітрового навантаження та неточності монтажу. Одночасно елементи перекриття та покриття є огорожувальними конструкціями; слугують для пропуску інженерних комунікацій, технологічного обладнання й підвішування підйимально-транспортних механізмів. Перекриття та покриття, особливо великопрольотні, є матеріаломісткими та трудомісткими елементами, на які

припадає близько 30–40% бетону і сталі, що йдуть на зведення будівлі. Тому проектування конструкцій перекриттів повинно базуватися на експериментально-теоретичних дослідженнях **дійсних умов їх роботи** та взаємодії в складі будівель та споруд; розробці на цій основі вдосконалених методів розрахунку, що враховують їх просторову роботу. У зв'язку із викладеним, дослідження просторової роботи перекриттів, що має на меті уточнення напружено-деформованого стану та більш економічне їх проектування, є **актуальним** завданням.

2. Аналіз останніх досліджень і постановка задачі.

В [1] зазначено, що розрахунку просторової роботи ребристих, суцільних і пустотних систем присвячено безліч робіт вчених різних країн [2–8]. Розрахунки збірних і монолітних перекриттів з урахуванням просторової роботи в основному базуються на розрізанні на окремі балки й складанні умов спільності деформацій суміжних елементів. Невідомі внутрішні зусилля представляються в основному у вигляді рядів Фур'є. Існують точні рішення з використанням диференціальних рівнянь [3,9,10], засновані на методі В.З. Власова. Методи інженерних розрахунків розроблені Б.В. Карабановим [11], однак, і вони не передбачають варіантного проектування з урахуванням різного розташування навантажень з метою попереднього підбору арматури для подальшого точного розрахунку з урахуванням тріщиноутворення, дефектів та інших чинників.

Найпростішим в реалізації на теперішній момент є метод кінцевих елементів, що реалізується в багатьох програмних комплексах. Цей метод відноситься до числових методів розрахунку [12, 13] та дозволяє здійснювати статичний розрахунок будівельних конструкцій з урахуванням багатьох факторів, тобто створювати розрахункову модель, умови роботи якої максимально наближені до реальних.

Метою роботи є отримання підтвердження спільної роботи збірних багатопорожнистих плит в ячейці перекриття за допомогою числового експерименту, виконаного за допомогою ПК Ліра-САПР. Числовий

експеримент складався з декількох **задач**, які могли б наочно продемонструвати перерозподіл деформацій та напружень між плитними елементами. Перша модель дослідження являла собою кінцееlementну модель ячейки з плит, завантажену рівномірно розподіленим по площі навантаженням. Надалі порівнювалися та аналізувалися зміни напружено-деформованого стану цієї моделі за впливу різних факторів.

Такими факторами були: наявність локального завантаження однієї з плит перегородкою; спирання крайньої плити на стіни по трьох сторонах, часткове руйнування (виході з ладу) однієї з плит ячейки.

3. Викладення основного матеріалу. Розглянемо ячейку перекриття, яка складається із чотирьох збірних залізобетонних плит шириною 1500 мм та прольотом 3880 мм. Спирання плит за короткими сторонами на стіни прийнято шарнірним, тобто плити працюють під навантаженням за балковою схемою.

Просторова модель перекриття, далі – «вихідна схема» показана на рис.1

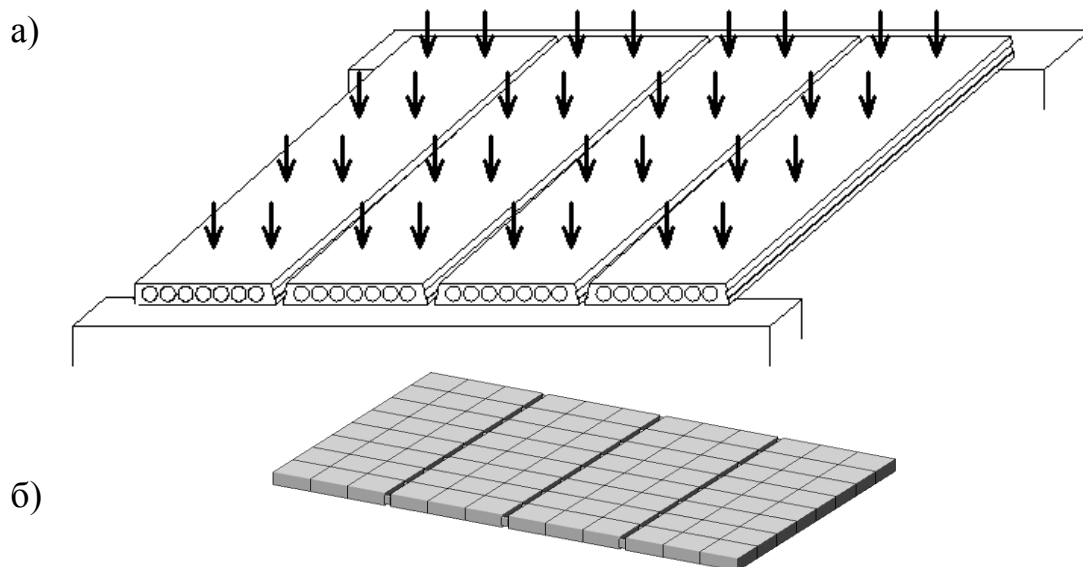


Рис. 1 Схема ячейки із збірних багатопорожнистих плит перекриття завантажена рівномірно розподіленим по площі навантаженням «вихідна модель» – *a*; просторова модель ячейки в ПК Ліра-САПР –*б*

Розміри плит 1500×3880×220 мм марки ПК 39.15-8 за серією 1-141-1 за ГОСТ 9561-91. Схема змодельована пластинчатими кінцевими елементами

№ 22 типу «плита». Наявність порожнин плити врахуємо призначенням пластинчатому елементу ортотропних властивостей, тобто приймаємо різну жорсткість за двома напрямками плити. Реальний поперечний переріз багатопорожнистої плити замінено на приведений двотавровий переріз. Обчислено модулі пружності для приведених поперечного та поздовжнього перерізів за рис. 2. б,в : $E_{x_red} = 691200 \text{ кН/м}^2$ та $E_{y_red} = 7611000 \text{ кН/м}^2$. Сумісна робота плит в ячейці перекриття забезпечується завдяки замоноличенню бокових шпонок, що розташовані по довгих сторонах плит та завдяки влаштуванню анкерування плит між собою та зі стінами, що несуть, та на які спираються плити. В розрахунковій схемі таке конструктивне вирішення може бути представлено в двох варіантах: за допомогою застосування функції «об'єднання переміщень вузлів» та введенням до розрахункової схеми вздовж довгих сторін плит стерженьків з шарнірами на кінцях. Порівняльний аналіз зусиль показав, що ці два способи апроксимації поздовжніх швів між плитами є рівнозначними. Оберемо другий спосіб завдання швів між плитами, тобто застосуємо опцію «об'єднання переміщень суміжних вузлів по вертикалі».

Ячейка завантажена рівномірно-розподіленим навантаженням $6,4 \text{ кН/м}^2$, яке складається з власної ваги конструкції та корисного навантаження.

Як було розглянуто вище, розглянемо три варіанти, які доводять, що відбувається перерозподіл внутрішніх зусиль та напружень в окремих плитах ячейки:

- крайня плита спирається довгою стороною на стіну (рис.2,а);
- на другу з лівого боку ячейки плиту спирається перегородка; (рис.2,б);
- в наслідок руйнування жорсткість другої з лівого боку плити понижена (рис.2,в);

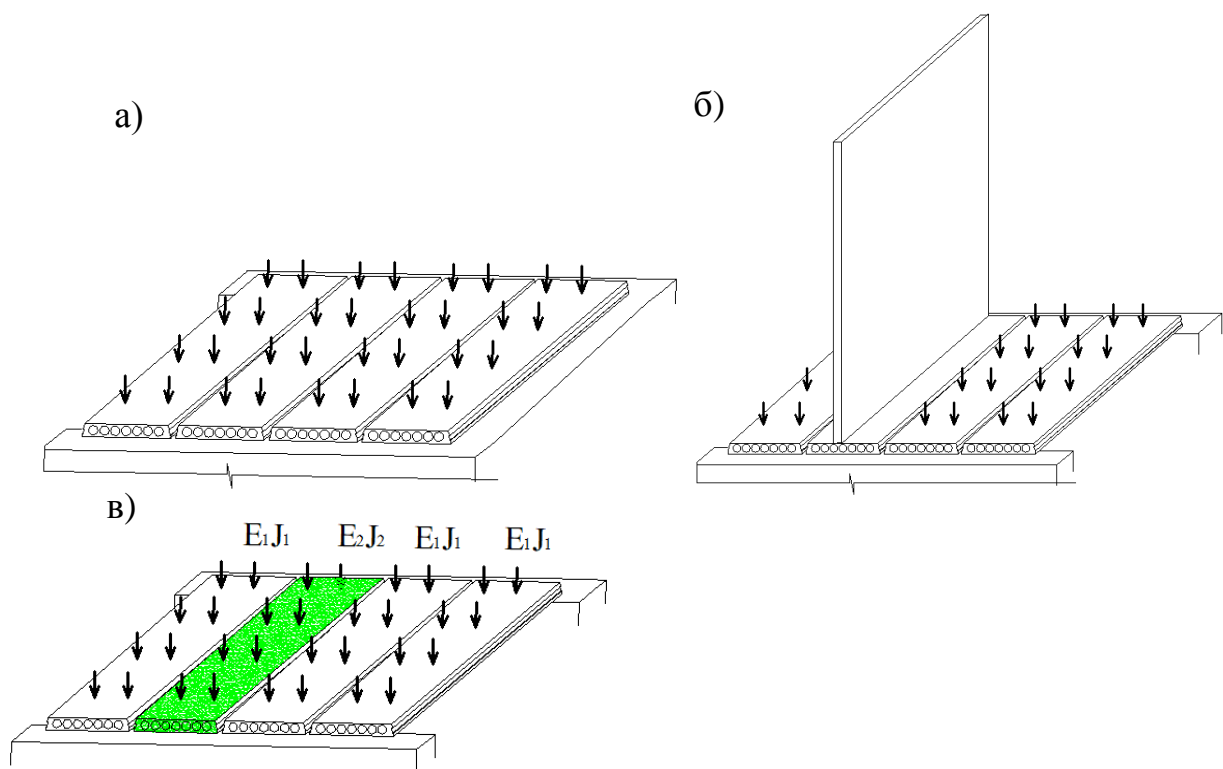


Рис.2 Фактори, які виявляють сумісну роботу плит в складі ячейки перекриття: крайня плита спирається довгою стороною на стіну – а; завантаження локальним навантаженням – б; при виключенні з роботи однієї з плит ячейки – в

Епюри ізополів напружень по M_x та M_{xy} для рівномірно завантаженої ячейки наведено на рис. 3. Так, із рис. 3 видно, що розподіл внутрішніх напружень є симетричним та рівномірним.

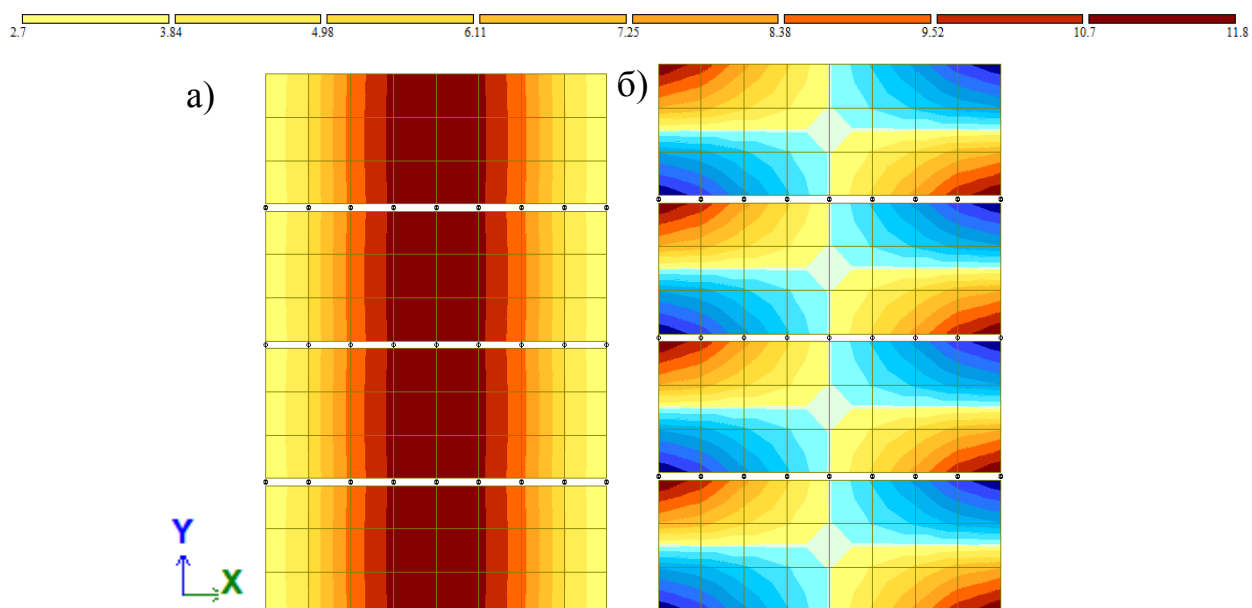


Рис. 3.Ізополя напружень від моментів вигину: по M_x –а; по M_y –б

На рис. 4 наведено ізополя напружень по M_x (кНм/м) та порівняльні графіки погонних моментів M_x , що діють в перетині плит, ортогональному до осі X. Графіки побудовані для для вихідної схеми за рис.1,а та для схеми за рис. 2,а.

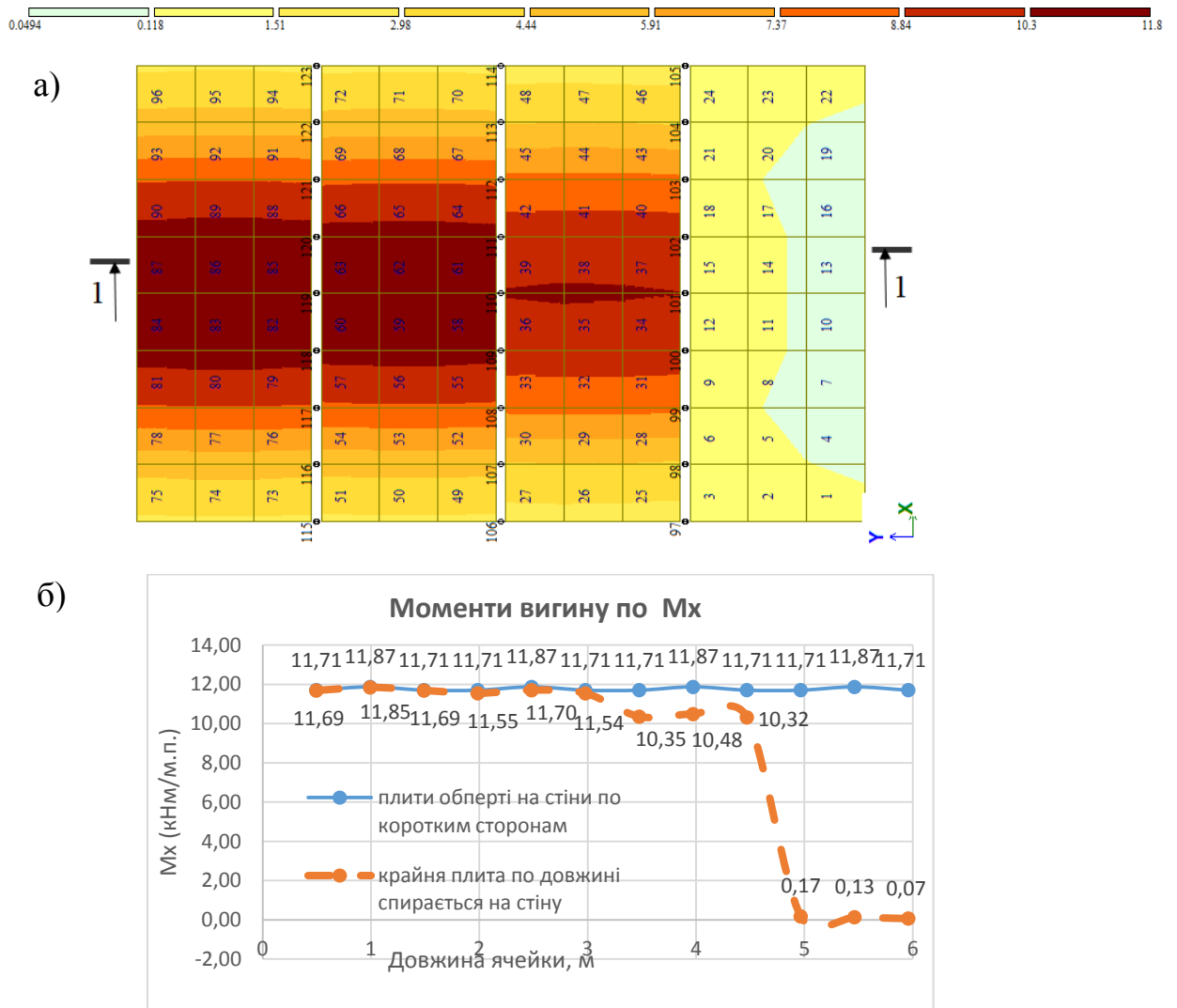
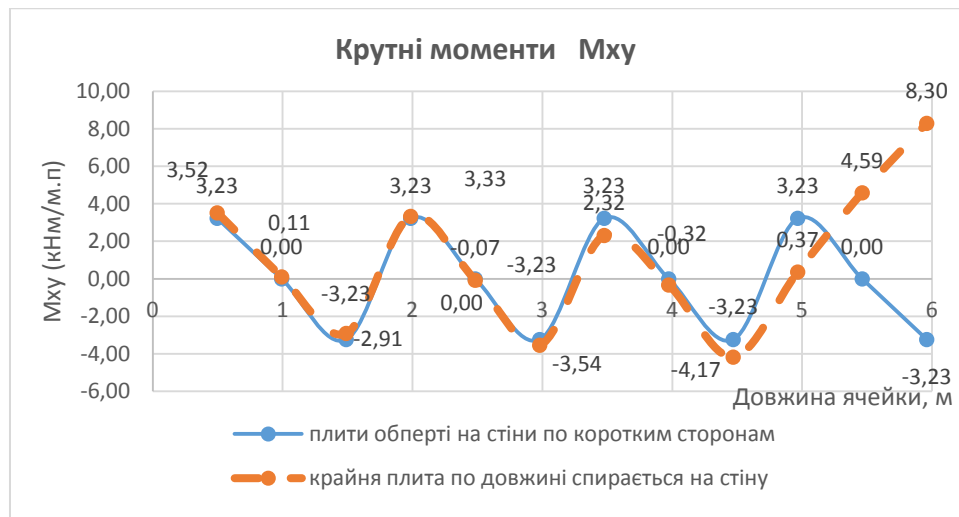


Рис.4. Ізополя напружень по M_x – а; графіки моментів M_x для вихідної схеми за рис.1, а та для схеми за рис. 2, а

На рис. 5 наведено графіки напружень від крутних моментів M_{xy} та поперечної сили Q_x для вихідної схеми за рис.1,а та для схеми за рис.2,а.

а)



б)

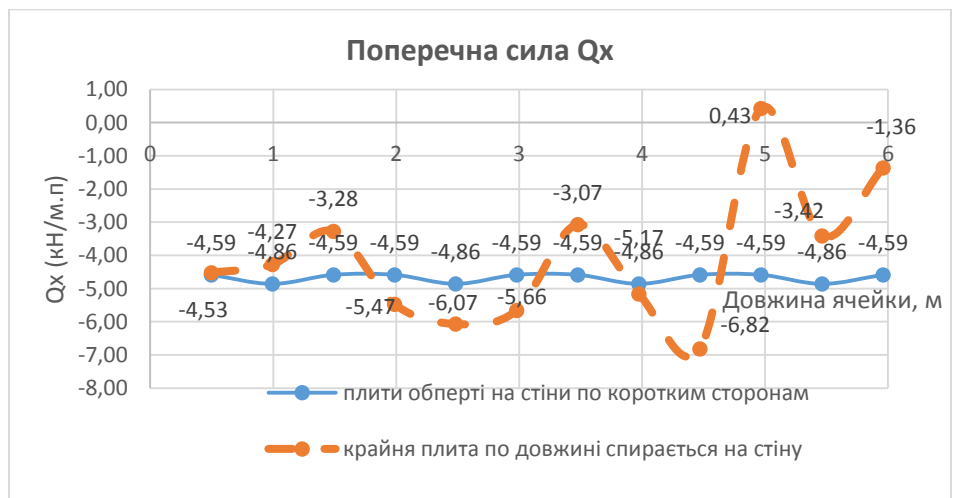


Рис.5. Графіки погонних зусиль від моментів M_{xy} – а; від поперечних сил Q_x – б та Q_y – в для вихідної схеми за рис. 1, а та схеми за рис.2,а

Для нежорсткої перегородки 60% її ваги приймається розподіленою по довжині перегородки (на ділянках між прорізами), а 40% – у вигляді зосереджених сил [14]. Отже, завантажимо посередині другу від лівого краю ячейки плиту вздовж довгої її сторони (рис.2,б та рис. б) точковими силами $P=0,75$ т, що прикладені на відстані $L/12=3,88/12=0,32$ м, змодельовавши таким чином, 40 % ваги перегородки на плиту. Інші 60% ваги перегородки за допомогою опції «навантаження-штамп» в ПК ЛИРА–САПР змодельуємо лінійно розподіленим навантаженням інтенсивністю $q=0,53$ т/м з кроком триангуляції 0,1 м.

б)

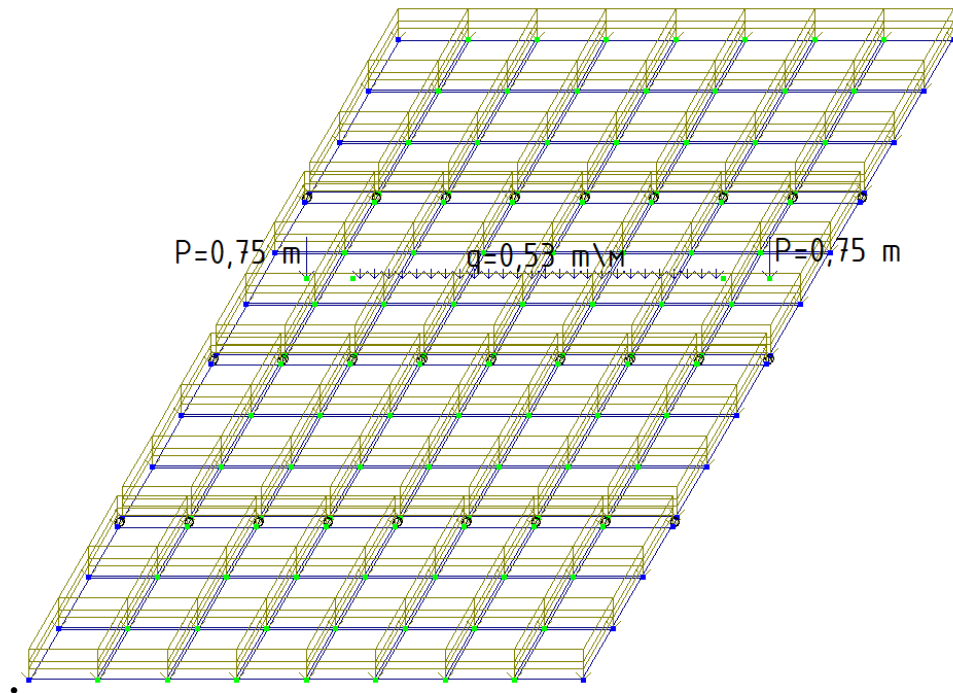
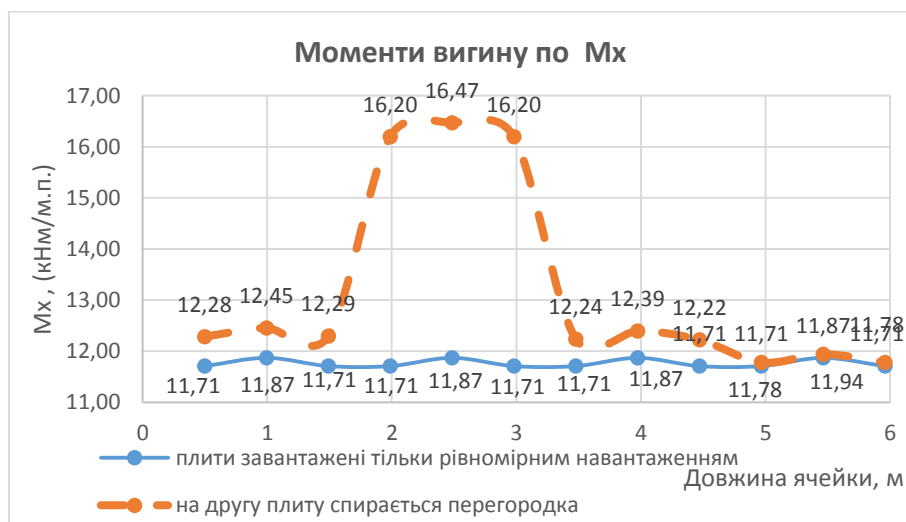


Рис.6 Моделювання навантаження від перегородки на другу з лівого боку плиту –а;
загальний вигляд навантаженої ячейки із чотирьох плит–б

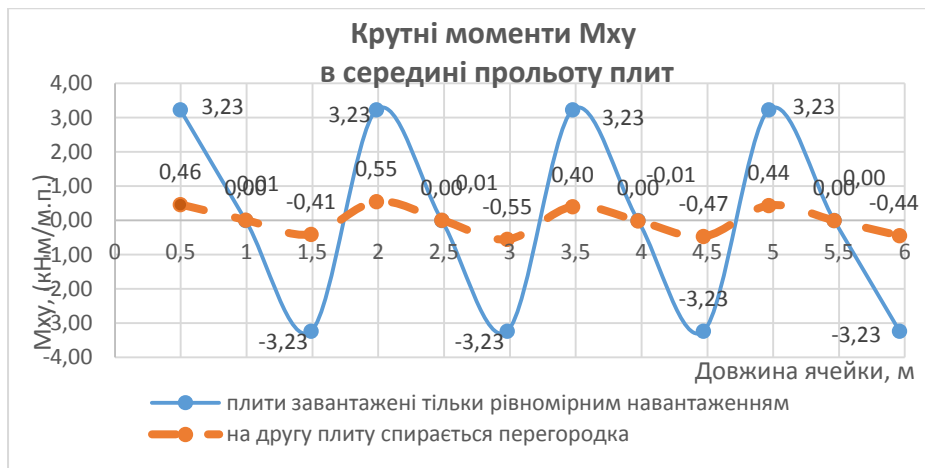
погонних моментів M_x , що діють в перетині плит, ортогональному до осі X. Графіки побудовані для для вихідної схеми за рис.1,а та для схеми за рис. 2,а.

На рис. 7 наведено порівняльні графіки погонних моментів M_x , що діють в перетині плит, ортогональному до осі X. Графіки побудовані для для вихідної схеми за рис.1,а та для схеми за рис. 2,б.

а)



б)



в)

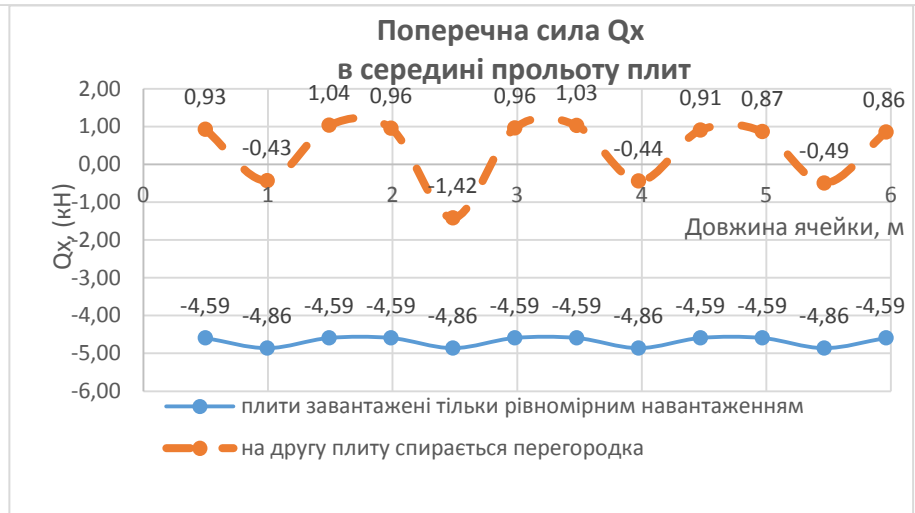


Рис.7 Графіки погонних зусиль від моментів M_x – а; від крутних моментів M_{xy} – б; поперечних сил Q_x – в для вихідної схеми за рис. 1, а та для схеми за рис.2,б

На рис.8 наведено графік зміни моменту вигину M_x для моделі ячейки з плит, в яких з роботи «виключена» одна з плит (рис.2, в). Моменти кручення M_{xy} та поперечна сила Q_x залишилися без змін, тому графіки зміни цих зусиль наводити не будемо.

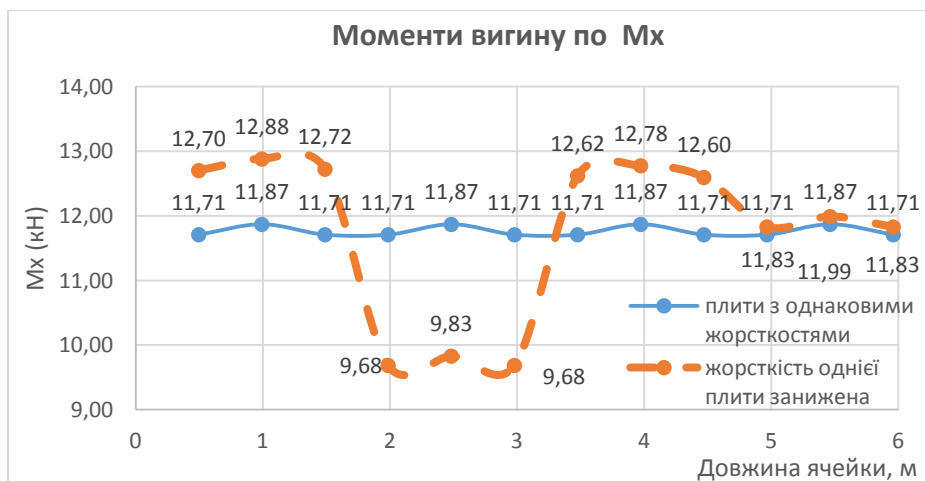


Рис. 8. Графіки зміни зусиль для ячейки з плит, де друга зліва плита виключена з роботи під навантаженням: від $M_x - a$; від $M_x - б$; від $Q_y - в$

4. Аналіз числових досліджень.

Виконані числові дослідження показують суттєву зміну напружено-деформованого стану перекриття при врахуванні сумісної роботи плит.

При спиранні поздовжньою стороною на стіну однієї з плит слід відзначити наступний характер зміни внутрішніх зусиль. Момент вигину M_x та поперечна сила Q_x суттєво зменшилися, але у 2,67 раза збільшився крутний момент M_{xy} . Наявність та величина моментів кручення при традиційному проектуванні не враховується, що суперечить реальній картині напружено-деформованого стану перекриття.

Аналіз другої моделі показує, що, навпаки, моменти вигину M_x мають тенденцію до збільшення в усіх плитах ділянки. В усіх плитах, окрім завантаженої локально, вони збільшилися рівномірно та на однакову величину. В плиті, на яку прикладене локальне навантаження, відбувається стрибок моменту M_x . Моменти кручення M_{xy} зменшилися в 5,7 раза лише в середині прольоту кожної з плит ячейки (рис.7, б); в приопорних зонах M_{xy} залишилися без зміни в порівнянні із рівномірно завантаженою схемою. Аналогічним чином поперечна сила Q_x рівномірно зменшилася в усіх плитах ячейки в середині їх прольоту майже в 5 разів, а в приопорних зонах плит її значення майже не змінилося, хоча в плити, що завантажена перегородкою, відбувається збільшення (різкий стрибок) сили в приопірній зоні в 1,83 раза.

Аналіз другої моделі показує, що максимальний момент в плиті, що завантажена перегородкою, при її сумісній роботі з суміжними плитами, виявляється меншим, ніж максимальний момент в цій плиті, якби вона була розрахована без урахування просторової роботи. Без урахування просторової роботи максимальний момент в плиті становить 18,5 кН м / м.п, а момент в цій плиті з урахуванням просторової роботи, становить 16,5 кН м / м.п (див. рис. 7, а), що в 1,12 раза менше. Легко перевірити, що і прогини локально завантаженої плити в складі перекриття також виявляються значно меншими,

ніж прогини в плиті, що розрахована без урахування просторової роботи. Це свідчить про істотний ефект просторової роботи. Цей фактор може бути використаний як фактор економії матеріалів.

Так, якщо порівняти максимальний момент для схеми за рис. 1,а то він становить 11,8 кН м/м.п в той час, як було показано вище, максимальний момент вигину для плити без урахування просторової роботи становить 18,5 кН м / м.п. Різниця між цими показниками складає 1,56 раза.

Розрахунки показують, що в перекриттях зі збірних плит в основному виникають нормальні тріщини. Дослідження, проведені в цій статті, як було зазначено вище, показали, що в плитах (навіть при відсутності обпирання поздовжніми сторонами) при локальних навантаженнях виникає крутий момент. Перерозподіл навантаження між окремими плитами залежить як від жорсткостей на вигин, так і від жорсткості на кручення. У зв'язку з цим виникає досить істотна проблема врахування зміни жорсткості залізобетонних плит з нормальними тріщинами. Водночас практично всі відомі методи розрахунку жорсткості на залізобетонних елементах припускають наявність в них просторових тріщин, хоча експериментальні дослідження авторів статті [15] говорять про суттєвий вплив нормальних тріщин на крутильні жорсткості залізобетонних елементів.

Таким чином, проведені в цій статті дослідження відкривають широкі завдання подальших досліджень роботи перекриттів зі збірних залізобетонних плит.

Висновки та перспективи досліджень

Аналіз проведених розрахунків показує, що врахування спільної роботи плит істотно змінює картину напружено-деформованого стану перекриття. Згинальні моменти в окремих плитах зменшуються (може досягати декількох разів). Крім того, виникають суттєві круті моменти, що не враховуються в реальному проектуванні. Особливо це стосується перекриттів, одна або обидві поздовжні сторони яких оперті на стіни. Неврахування крутильних моментів може привести до того, що в плитах

утворюються тріщини кручення, які можуть привести до обвалення. Крім того, виникнення істотних поперечних сил взаємодії може привести до зрізу бетонних шпонок, який також слід врахувати в розрахунках при реальному проектуванні.

З іншого боку, розрахунки з урахуванням просторової роботи перекриття показують, що згинальні моменти й прогини плит істотно зменшуються, що можна використовувати, як можливість економії матеріалів.

Таким чином, врахування просторової роботи перекриття з одного боку підвищує надійність проектування, усуває небезпеку недооцінки чинників, а з іншого боку – дозволяє економити матеріальні витрати.

Література

1. Азизов Т.Н. Пространственный расчет ребристых перекрытий по огибающим эпюрам/ Т.Н. Азизов, Н.Н. Голодкова // Зб. наук. праць. Серія «Галузеве машинобудування»
2. Байков В.Н. Исследование совместной работы сборных железобетонных элементов в системах плоских и пространственных конструкций: Дис ... доктора техн. наук. – М., 1967.
3. Краснощеков Ю.В., Мрачковский Л.И. Работа ребристых плит в сборных железобетонных настилах // Бетон и железобетон. – 1991. – № 1. – С. 28-30.
4. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры – М.: ЦИТП, 1986. – 192 с.
5. Власов В.З. Тонкостенные пространственные системы. – М.: Госстройиздат, 1958. – 502 с
6. Семченков А.С. Пространственно–деформирующиеся железобетонные диски перекрытий многоэтажных зданий. Экспериментальные исследования, практические методы расчета и проектирование: Дис. ... докт. техн. наук: 05.23.01. – М., 1991. – 703 с.

7. Семченков А.С. Расчёт сборных железобетонных перекрытий как полубезмоментных конструктивно-ортотропных пластин // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1974. – № 5. – С. 16-23.
8. Семченков А.С., Десятник Е.И. Совершенствование 12-метровых плит 2Т // Бетон и железобетон. – 1992. – № 5. – С. 2–4.
9. Азизов Т.Н. Пространственная работа железобетонных перекрытий. Теория и методы расчета: Дисс. ... доктора техн. наук: 05.23.01 / Полтавский национальный технический университет. – Полтава, 2006. – 406 с.
10. Дроздов П.Ф. Расчёт сборных перекрытий, опирающихся на внутренние и наружную стены // Сборник трудов НИИСК. «Строительные конструкции», вып. XII. – Киев, 1969. – С. 120–129.
11. Карабанов Б.В. Нелинейный расчет сборно-монолитных железобетонных перекрытий // Бетон и железобетон. – 2001. – №6. – С. 14-18.
12. Клованич С.Ф. Расчет железобетонных конструкций методом конечных элементов при длительных воздействиях // Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 62, том 1. – Київ: НДІБК, 2005. – С. 518-523.
13. Метод конечных элементов / Варвак П.М., Бузун И.М., Городецкий АС. и др. – К.: Вища школа, 1981. – 176 с.
14. Каманин А. Обучающее видео — LIRA SAPR Расчёт плит перекрытия на нагрузки от перегородок [Электронный ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=2Pth9FC0JCw>
15. Срібняк Н. М. Крутильна жорсткість залізобетонних елементів перекриттів з нормальними тріщинами : Дис... канд. наук: 05.23.01 – Одеса, 2009. – 253 с.