

Методи розрахунку залізобетонних монолітних перекриттів з порожнистими вкладишами

Володимир Кріпак¹, Віра Колякова², Валентин Скопец³

^{1,2,3}Київський національний університет будівництва і архітектури

31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037

¹kripak.vd@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6575-5015

²vkolyakova@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6879-8520

³vskopets@ukr.net

DOI: 10.32347/2522-4182.5.2019.15-23

Анотація. Монолітні залізобетонні плити перекриття з пустотними вкладишами мають великі переваги перед традиційними суцільними. Їх використання дозволяє знизити власну вагу, зменшити навантаження каркас будівлі, збільшити прольоти, поліпшити тепло – та звукопровідність перекриттів. Однак впровадження таких плит в будівництві стримується відсутністю теоретичних досліджень і необхідної нормативної бази для проектування. У статті розглядаються методи аналітичного і чисельного моделювання у МСЕ комплексах роботи плити з пустотними вкладишами. Розглянуто чотири можливих методи комп'ютерного моделювання об'ємної плити перекриття з перехресними порожнинами в комбінації з повнотілими ділянками плити з використанням ПК ЛІРА-САПР. Проаналізована схожимість результатів зусиль та переміщень дослідного фрагменту плити. Показано, що найбільш адекватно відображає напружений та деформований стан метод розрахунку 1 – моделювання перекриття плитою приведеної жорсткості. Цей метод є найбільш простим з точки зору моделювання складних архітектурних форм перекриттів, має задовільну подібність результатів, дозволяє підбирати необхідне армування за допомогою постпроцесорів. Даний метод рекомендовано використовувати при моделюванні просторової роботи каркасу будівлі, для оцінки зусиль і необхідного армування плит перекриття, елементів каркасу та фундаментів.

Ключові слова. Монолітна плита, пустотний вкладиш, напружений стан, моделювання, чисельні методи.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Практика зарубіжного будівництва свідчить, що введення в склад монолітних плит перекриття пустотних вкладишів



Володимир Кріпак
професор кафедри
залізобетонних та
кам'яних конструкцій,
к.т.н., проф.

Віра Колякова
доцент кафедри залі-
зобетонних та кам'яних
конструкцій,
к.т.н., доц.

Валентин Скопец
магістр кафедри
залізобетонних та
кам'яних конструкцій

дозволяє суттєво зменшити витрати бетону і арматурної сталі при збереженні необхідної міцності, жорсткості і надійності плит. За різними джерелами економія бетону та власної ваги плити перекриття може сягати 20...30%, арматури - 15...20% [2,4,5]. Використовують різні конструктивні рішення об'ємних плит: з розташуванням вкладишів в одному або в обох напрямках; з утворенням суцільних повнотілих ділянок плити в вигляді смуг або капітелей; пустотні використовують в вигляді пластикових чи азбестових труб труб, картонних коробів, пластикових вкладишів заводського виготовлення Nautilus, Cobiax, Bubbledeck, Сибформа та інші. Незважаючи на суттєві переваги пустотних плит перед суціль-

ними практика їх впровадження в Україні не значна. Відомі приклади використання облегшених монолітних плит лише при реконструкції будівель. Стримуючими факторами, на наш погляд, являються недостатня інформованість забудовників та проектувальників, обмеженість теоретичних та експериментальних досліджень, відсутність нормативної бази для проектування. Методи розрахунків пустотних плит присвячено ряд робіт []. Сьогоднішнє проектування будівельних споруд обов'язкове передбачає врахування просторової роботи всіх елементів конструктивної системи. Це можливе при використанні методів чисельного моделювання взаємодії цієї системи у МСЕ комплексах.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розглянемо різні можливі методи побудови комп'ютерної моделі фрагменту монолітної плити з використанням комплексу ПК ЛІРА-

САПР. Конструктивно розрахунковий фрагмент плити показаний на рис. 1.

Тут в опорних зонах утворені суцільні капітельні ділянки плити, а в середніх зонах пустотоутворювачі розташовані в обох напрямках.

Метод 1. Плита приведеної жорсткості.

Суть методу полягає у тому, що плита моделюється плоскою плитою-оболонкою (пластиною). Для придання оболонці ефекту пустотного перекриття в зонах, де за проектом розташовані пустоти, вводяться понижені характеристики жорсткості та власної ваги. В опорних зонах та по краях плити, де пустотоутворювачі відсутні, жорсткість плити залишається незмінною. Рекомендується на площу одного пустотоутворювача використовувати 4 скінченних елементи. Розрахунок армування може виконуватися за допомогою постпроцесорів розрахункового комплексу.

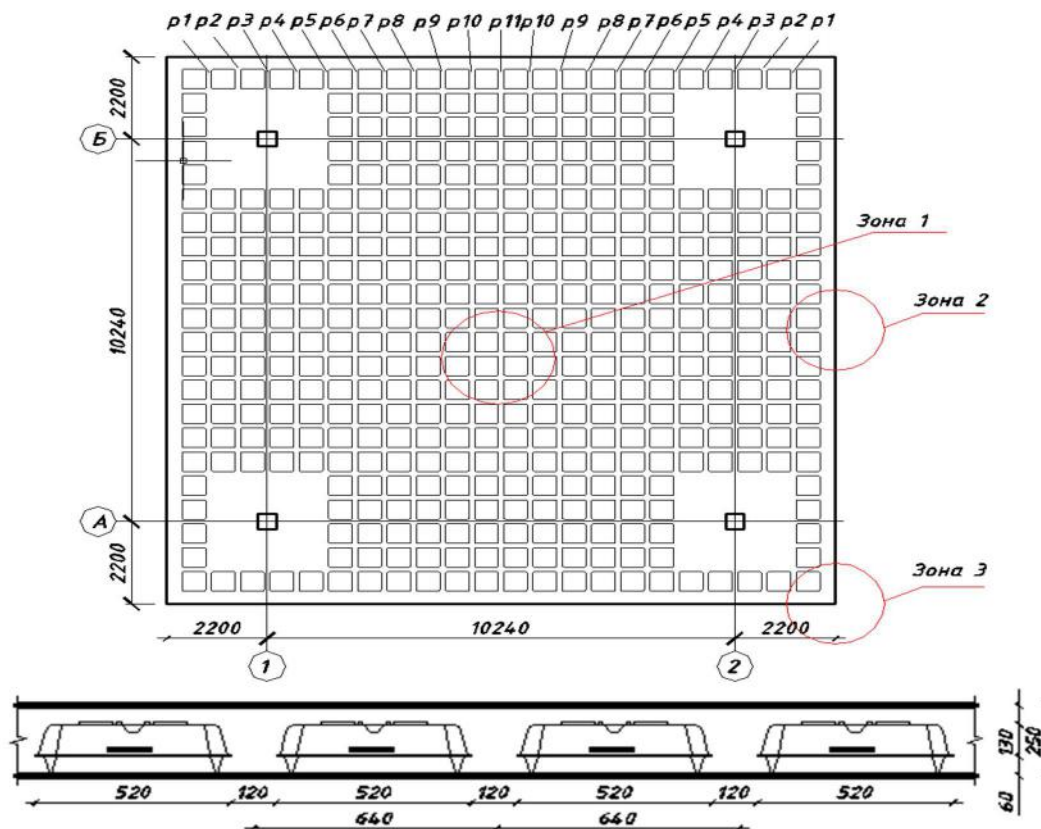


Рис. 1. Конструктивна схема досліджуваного фрагменту плити.

Fig. 1. Constructive diagram of the investigated slice plate.

У програмному комплексі, виконати зниження жорсткісних характеристик у місцях

розташування пустот необхідно виконувати шляхом зменшення модуля пружності [2, 3].

$$E_1 = E - \Delta E \quad (1)$$

Величину зменшення модуля пружності бетону плити розраховують за наступною формулою:

$$\Delta E = 100 (1 - I_{red}/I) \quad (2)$$

де E – модуль пружності бетону;

E_I – зменшений модуль пружності бетону;

I – момент інерції суцільної плити;

I_{red} – приведений момент інерції плити з урахуванням порожнин.

Зменшення власної ваги плити визначається через об'єм бетону, який містить у собі пустотна конструкція. Зменшення об'єму конструкції плити визначається як:

$$\Delta V = 100 (1 - V_{red}/V) \quad (3)$$

де V – об'єм m^3 плану суцільної плити;

V_{red} – об'єм m^3 плану плити з урахуванням порожнин.

Потім цю величину зменшення слід приміняти до щільності залізобетону, яка буде вводиться в налаштуваннях жорсткості у вихідних даних програмного комплексу. Це дасть змогу задавати власну вагу автоматично у САПР. Знижена щільність матеріалу визначається як:

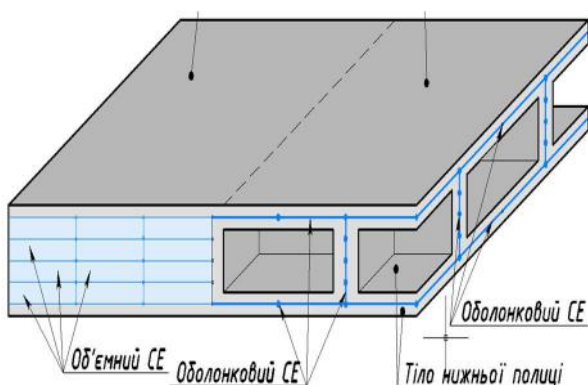


Рис.2. Схема моделювання опорної зони плити.

Fig.2. Scheme for modelling the anchor zone plate

Слід відзначити, що цей спосіб є одним з найбільш точних [1], він найбільш повно відображає роботу кожного елемента конструкції, але результати отримані у програмному комплексі при такому моделюванні представленні

$$R_{01} = R_0 * \Delta V \quad (4)$$

де R_0 – нормована щільність m^3 бетону плити;

R_{01} – знижена щільність m^3 бетону плити.

Метод 2. Моделювання плити оболонковими елементами.

В цьому методі полиці і ребра моделюються оболонковими СЕ 44, також для ребер можливо використовувати СЕ11 (тип пластина). Зони спирання та вільні краї плити моделюються об'ємними скінченними елементами СЕ 36. Власна вага при такому типі моделювання повинна задаватись приведеним значенням, Така вимога викликана тим, що задаючи власну вагу атоматичним способом (за допомогою функції власна вага у програмному комплексі) буде врахована завищена власна вага, так як у місцях взаємних перетинань ребер їх вага буде враховуватися двічі. Слід відзначити, що при конструюванні пустотних перекриттів однією з ключових цілей є зменшення його власної ваги, а тому приймати в запас навантаження від збільшеної власної ваги перекриття внаслідок взаємного перетинання ребер недоцільно. Схеми моделювання різних ділянок плити наведені на рис. 2 та 3.

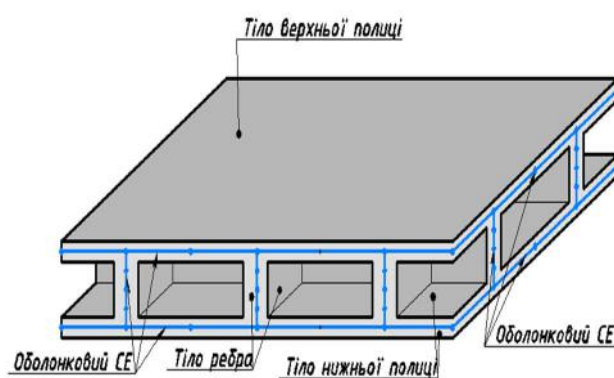


Рис.3. Схема моделювання середньої зони плити з порожнинами.

Fig.3. Scheme for modelling the middle zone plate with voids.

у вигляді напружень. Визначення необхідного армування при такому моделюванні програмно через пост- постпроцесор неможливе. Розрахункову площу арматури тут необхідно визначати на основі зусиль M , N , Q . Здійснення перехід

від напружень виконують методом інтегрування по розрахунковим перерізам. Для цього зручно використовувати стандартні залежності для нормальних та дотичних напружень.

$$M = \sigma \cdot \frac{I}{y} \quad (5)$$

$$Q = \frac{\tau \cdot b \cdot I}{S} \quad (6)$$

де M – згинальний момент, що сприймається розрахунковим перерізом;

y – відстань від нейтральної осі до точки y якій визначено нормальне напруження;

Q – поперечна сила в перерізі;

S – статичний момент відсіченої частини перерізу;

b – ширина розрахункового перерізу в місці дії максимального дотичного напруження;

Враховуючи те, що скінченні елементи розміщені в серединних лініях розрахункового перерізу а також те, що результати відображені на мозаїці напружень в ПК ЛІРА обчислюють в центрі кожного скінченного елемента, слід уточнювати фактичні значення напружень за схемою наведеною на рис. 4.

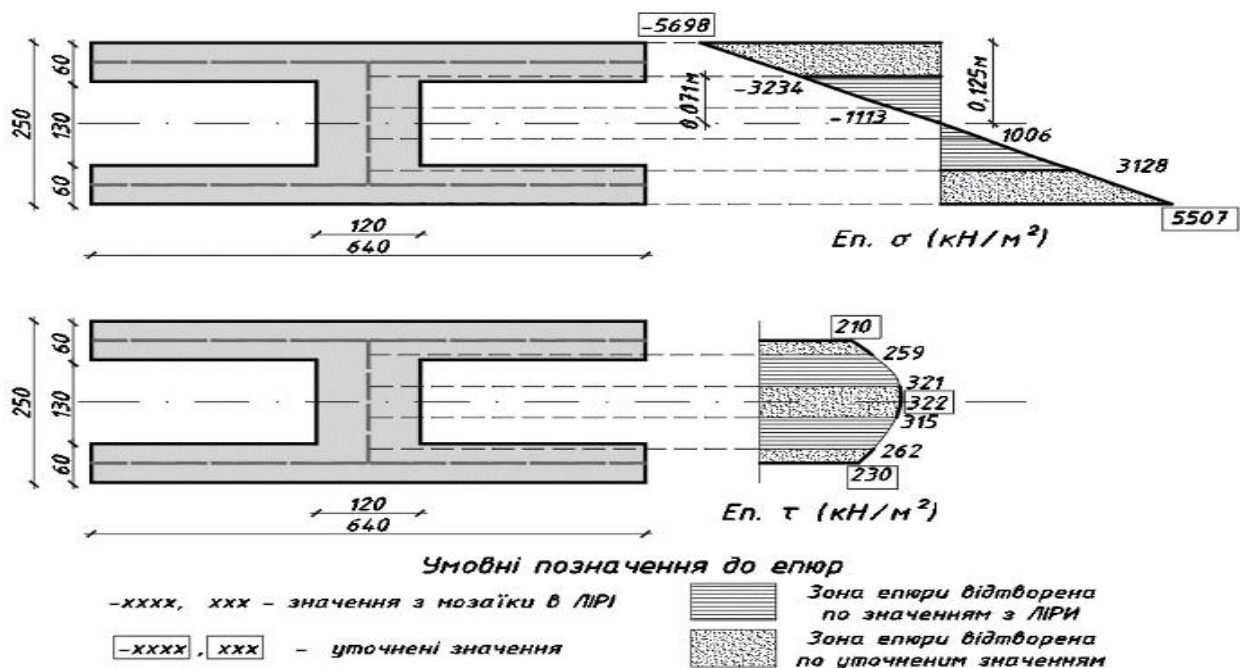


Рис 4. Схема уточнення напружень.

Fig 4. The scheme of clarifying stresses.

Метод №3. Моделювання стрижневими СЕ двутаврового перерізу

Метод полягає у тому, що ребра моделюють стрижневими СЕ яким призначають жорсткість двутаврового перерізу. Для зручності прикладання навантажень між стержньовими СЕ моделюється плита з оболонкових СЕ нульової жорсткості. Зони обпирання та вільні краї плити моделюються оболонковими СЕ 44 фактичної жорсткості [3]. Недолік даного методу полягає у тому що при налаштуванні параметрів постпроцесора армування при невисокій висоті полиць неможливо призначити

прив'язку арматури таким чином щоб вона знаходилась на серединній площині полиці.

При висоті полиці 6 см, серединна лінія знаходиться на відстані 3 см що є оптимальним місцем для розміщення арматури. Але призначити прив'язку 3 см неможливо через обмеження програми. Мінімально допустима прив'язка яку можна встановити становить 2 см від грані полиці. Враховуючи те, що арматурна сітка по висоті складається з двох стержнів, навіть при малому діаметрі цих стержнів при прив'язці 2 см не виконується умова забезпечення захисного шару бетону. В такій ситуації можна призначити прив'язку 2 см, але необхідно пам'ятати, що чим вища висота робочого

перерізу (d) тим більша несуча здатність перерізу, і як наслідок, підібрана програмно арматура може бути заниженою. Похибка в підборі арматури буде залежати від висоти перекриття, для невисоких плит - буде більш значною. В

цих випадках необхідно виконувати корегування отриманого армування полиць плити.

Схеми моделювання за даним методом наведені на рис. 5 та 6.

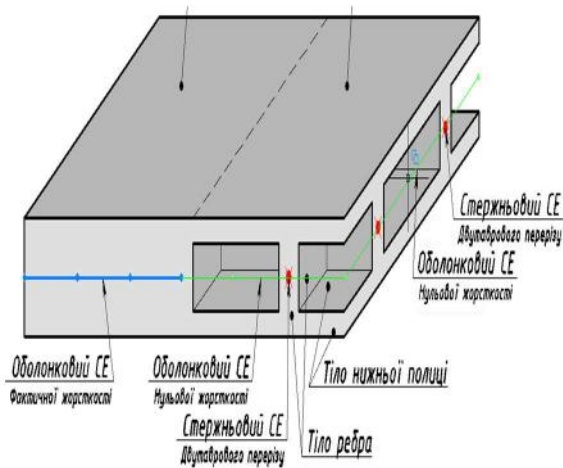


Рис. 5. Схема моделювання опорної зони.
Fig. 5. Scheme for modelling the anchor zone plate

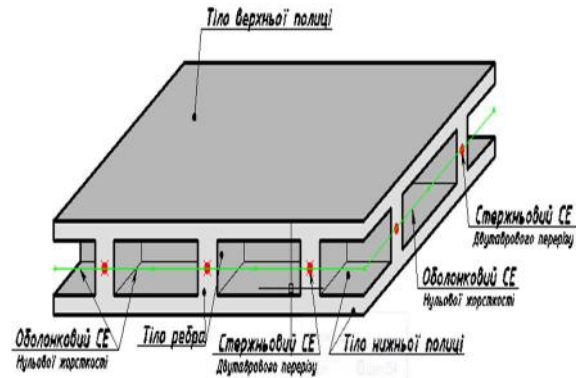


Рис.6. Схема моделювання зони плити з пустотами.
Fig.6. Scheme for modelling the zone plate with voids.

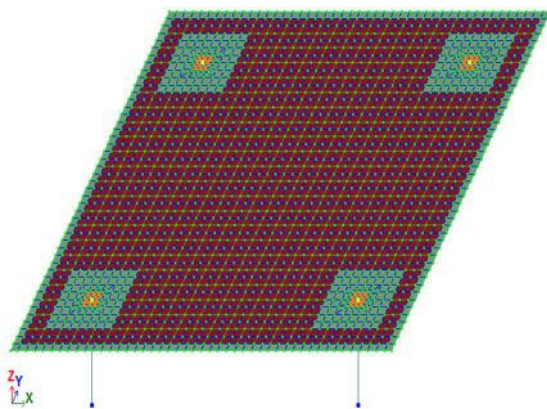


Рис. 7. Розрахункова схема плити.
Fig. 7. Calculating plate scheme.

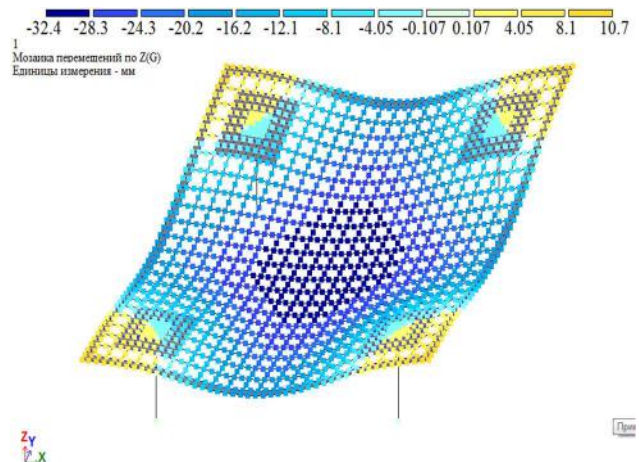


Рис.8. Прогини плити
Fig. 8. Plate bends .

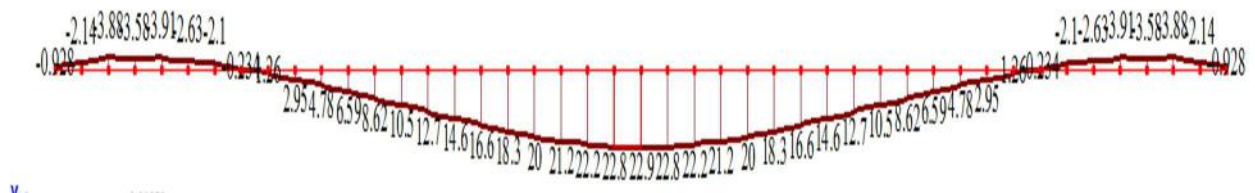


Рис.9. Моменти M_y для середнього ребра.
Fig. 9. Moments of M_y for the middle rib.

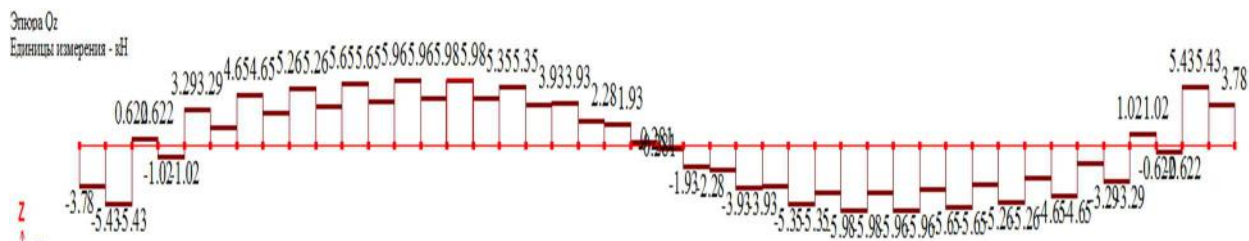


Рис.10. Поперечні сили Q_x для середнього ребра.
Fig. 10. Cross-strength Q_x for the middle rib.

На рис.7 та 8 наведені вид розрахункової схеми та прогини фрагменту плити при розрахунках за методом 3, а на рис.9 та 10 показані зусилля в середньому ребрі.

Метод №4. Моделювання стрижневими та оболонковими скінченими елементами з застосуванням абсолютно жорстких вставок (АЖТ). Метод полягає у тому, що ребра моделюються стрижневими скінченими елементами, яким призначається жорсткість прямокутного перерізу відповідно до геометричних

розмірів ребра. Полиці моделюються оболонковими скінченими елементами, які приєднуються до стрижневих елементів за допомогою абсолютно жорстких стрижнів.

Довжина жорсткої вставки призначається рівною половині висоти полиці плити [1]. Зони опирання та вільні краї плити моделюємо оболонковими СЕ 44 з фактичною номінальною жорсткістю. Схеми моделювання суцільних перерізів плити та плити з порожнинами наведені на рис. 11 та 12.

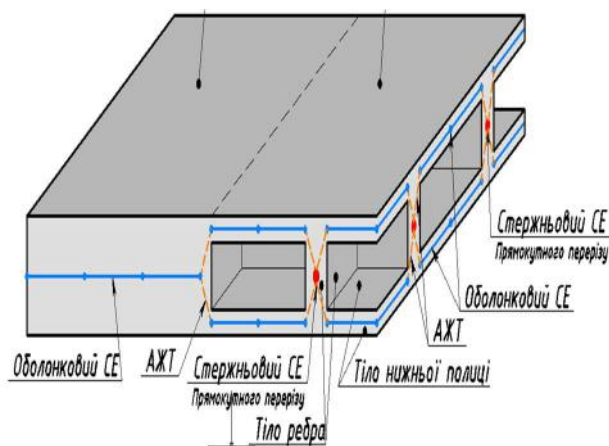


Рис.11.Схема моделювання опорної зони.
Fig.11. Scheme for modelling the anchor zone plate.

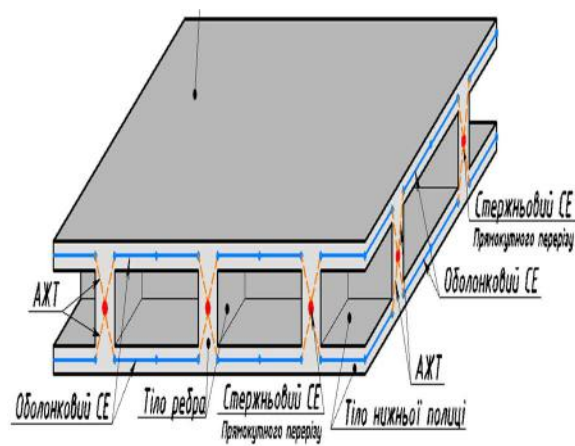


Рис.12.Моделювання зони плити з пустотами.
Fig.12. Scheme for modelling the zone plate with voids.

Результати розрахунків дослідного фрагменту плити.

Для оцінки адекватності результатів напруженого та деформованого стану плити при різних методах моделювання її роботи виконані порівнювальні розрахунки дослідного фрагменту (рис. 1) чотирма описаними вище метода-

ми. Розраховувалася ділянка плити розмірами в плані 10,24 x 10,24 м. Навантаження на 1 м² плити прийняті стандартними, як для житлового будинку. Аналізувалися прогини, зусилля в ребрах плити та зусилля в колонах. Результати розрахунків приведені в табл. 1-3 та на рис 13 - 14. Номери зон та ребер, на які є посилання на рисунках і в таблицях наведені на конструкти-

вній схемі досліджуваного фрагмента плити (рис.1).

При розміщенні пустотоутворювачів згідно рис. 1 в плиті утворюється система перехрес-

них ребер, які з'єднуються між собою полицями плити. Аналізуються зусилля в ребрах до осі симетрії фрагменту плити.

Табл. 1. Прогини та зусилля в елементах дослідного фрагмента плити.

Table. 1. The bends and the effort in the elements of the plate's research fragment.

Номер метода	Максимальні прогини у зоні мм			Зусилля в колонах		
	1	2	3	N, кН	M _в , кНм	M _н , кНм
Метод 1	-31,6	-14,8	10,6	725	238	119
Метод 2	-34,3	-16,7	10,8	726	227	115
Метод 3	-32,4	-17,7	10,7	724	260	129
Метод 4	-24,5	-11,7	8,03	724	197	98

Табл.2. Згинальні моменти в ребрах плити.

Table. 2. Bending points in the ribs of the plate

Номер метода	Номери ребер плити										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Метод 1	58,4	57,9	56,7	54,4	51,0	46,9	42,6	39,2	35,7	33,7	33,0
Метод 2	54,3	53,6	52,8	51,4	49,6	47,4	45,0	43,0	41,4	40,4	40,0
Метод 3	69,4	67,7	64,7	60,2	54,4	47,5	40,2	33,3	27,8	24,2	22,9
Метод 4	11,2	11,1	10,8	10,3	9,5	8,7	7,0	6,5	6,2	6,2	6,2

Табл.3. Поперечні сили в ребрах плити.

Table. 3. Transverse force in ribs plates

Номер метода	Номери ребер плити										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Метод 1	40,6	59,7	61,1	59,3	48,4	26,2	16,5	11,9	9,2	7,8	7,4
Метод 2	28,5	49,5	72,8	66,4	40,0	22,5	15,4	10,9	8,3	6,9	6,5
Метод 3	36,0	56,0	68,9	62,5	29,3	35,9	18,9	12,8	9,0	6,7	6,0
Метод 4	26,6	39,2	48,9	44,2	29,4	19,6	13,7	9,9	7,8	6,8	6,9

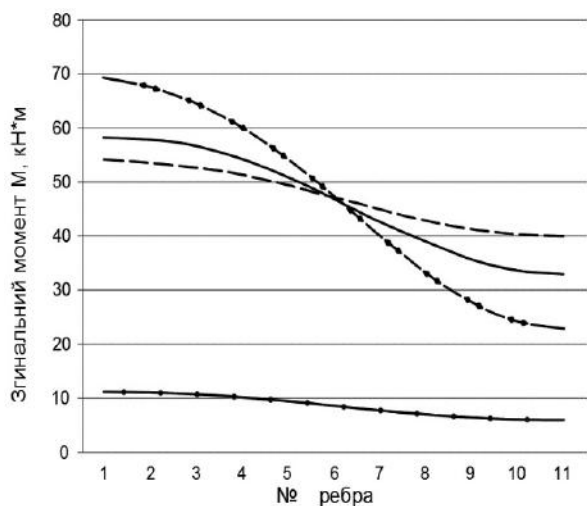


Рис.1. Згинальні моменти в ребрах плити.
Fig.1. Bending points in ribs of the plate.

Умовні позначення на рис.: ————— Метод 1 ——— Метод 2 —◆— Метод 3 —●— Метод 4

Legend in Fig. 1 and 2 : ————— Method 1 ——— Method 2 —◆— Method 3 —●— Method 4

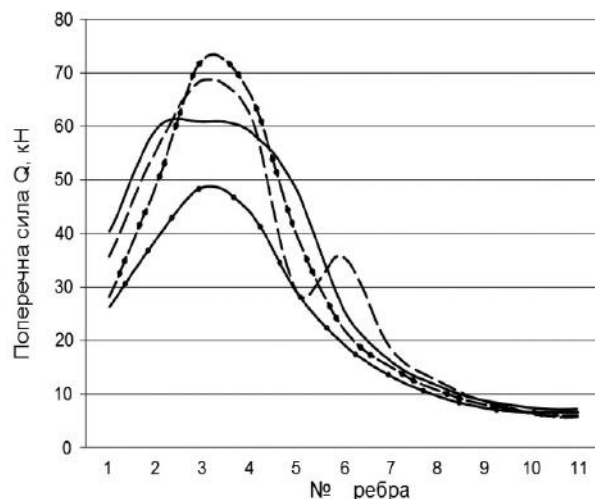


Рис.2. Поперечні сили в ребрах плити
Fig.2. Transverse force in the ribs of the plate.

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розглянуто 4 методи моделювання розрахункової схеми плити перекриття з пустотами, утвореними при її виготовленні.

Метод 1. Є найбільш простим з точки зору моделювання, а також має задовільну схожість результатів. Дозволяє підбирати повздовжнє армування за допомогою постпроцесора. Дозволяє легко моделювати складні архітектурні форми перекриттів. Даний метод рекомендовано використовувати коли необхідно змодельовувати повний каркас будівлі, оцінити зусилля і арматуру яка виникає не тільки у самому перекритті, а також у вертикальних елементах та фундаментах.

Поперечні зусилля в ребрах для подальшого підбору поперечної арматури необхідно визначати по ізополям Q_x , Q_y враховуючи розрахункову ширину перерізу.

Метод 2. Є найбільш точним з точки зору достовірності результатів. Дозволяє окремо оцінити напруження, які виникають у полицях і ребрах пустотного монолітного перекриття. Спосіб не передбачає автоматичного підбору арматури за допомогою постпроцесора. Армування необхідно підбирати по зусиллям що діють у розрахунковому перерізі. Комбінація оболонкових і об'ємних скінчених елементів вимагає більш дрібного кроку триангуляції сітки оболонкових елементів. В цілому цей

метод вимагає багато часу, як на моделювання так і на аналіз розрахунку.

Рекомендується застосовувати при моделюванні окремих перекриттів, відповідальних місць, або перекриттів зі складною геометрією.

Метод 3. Метод порівняно простий з точки зору моделювання. Дає змогу підібрати армування у постпроцесорі як повздовжнє так і поперечне. Даний метод не бажано використовувати для моделювання плит невеликої висоти до 350 мм де похибки припідборі арматури в полицях плити будуть суттєві. Слід пам'ятати що у різних ділянках перекриття даний метод дає велике розходження результатів. Його бажано використовувати в поєднанні з методом 1 або методом 2 для контролю та зменшення вірогідних помилок. Доцільно використовувати даний метод при моделюванні перекриттів з прихованими балками. Коли все перекриття моделюється тільки стрижневими елементами.

Метод 4. Даний метод широко використовується при моделюванні ребристих перекриттів, тому був розглянутий у даній роботі, але не показав задовільних результатів для порожнистих монолітних перекриттів. Це зумовлено, як невідповідністю переміщень так і не відповідністю зусиль, які виникають в елементах конструкції. Використовувати цей метод для моделювання порожнистих монолітних перекриттів не рекомендується.

При впровадженні в практику проектування надійних методів розрахунків та розробці необхідної нормативної бази, впровадження монолітних пустотних перекриттів дозволяє:

1. Зменшити витрати бетону на перекриття на 20...30 %.
2. Збільшити сітку вертикальних несучих елементів до 10...12 м без введення в склад перекриття високих балок.
3. Забезпечити гнучкість в виборі архітектурно-планувальних рішень.
4. За рахунок зменшення власної ваги перекриття зменшити навантаження на вертикальні несучі елементи, фундаменти та основи.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Городецкий А.С., Евзеров И.Д.** Компьютерные модели конструкций. К.: изд. Факт, 2005-344 с.
2. **Лоскутов И.С.** Монолитные железобетонные кессонные перекрытия. М.: 2015.-72 с.
3. **Bhagat S.** Comparative study of voided flat plate slab and solid flat plate slab / Saifee Bhagat, Dr. K.B. Parikh // International journal of innovative research & development – 2014. - №3(3). – с. 22-25.
4. **Nasvik, J.** (2011). On the Bubble. Concrete Construction, (December), 10/28/2012.
5. **Mota, M.** (2009). Voided Two-Way Flat Plate Slabs. Structure , (April), 7.

REFERENCES

1. **Gorodezky A., Evzerov I.** Computer Model Designs. K.: publ. h. Fakt, 2005-344 p.
2. **Loskytov I.** Monolithic reinforced Concrete Structures. M.: 2015 - 72 p.
3. **Byagat S.** Comparative study of voided flat plate slab and solid flat plate slab Saifee Bhagat, Dr. K.B. Parikh // International journal of innovative research & development – 2014. - №3(3). – p. 22-25
4. **Nasvik, J.** (2011). On the Bubble. Concrete Construction, (December), 10/28/2012
5. **Mota, M.** (2009). Voided Two-Way Flat Plate Slabs. Structure , (April), 7.

Methods of calculation of reinforced concrete monolithic floors with hollow liners

*Volodymyr Kripak, Vira Kolyakova,
Valentyn Skopets*

Summary. Monolithic reinforced concrete slabs overlap with hollow liners have great advantages over traditional solid. Their use can reduce their own weight, reduce the load frame of the building, increase spans, improve heat – and sound conductivity will overlap. However, the implementation of such panels in construction is constrained by the lack of theoretical research and necessary regulatory framework for design. In the article the methods of analytical and numerical modeling in ITU complexes of slab work with hollow liners are examined. It is considered four possible methods of the computerized modelling of the floor slabs of the overlap with cross cavities in combination with full-bodied AREAS OF the plate using SP lira-Cad. The results of the efforts and displacements of the slice plate. It is shown, that most adequately reflects the tense and deformed condition of the calculation 1 – overlap normalized cooker. This method is the simplest in terms of modeling complex architectural forms of overlap, has satisfactory similarity of results, allows to select necessary reinforcement using Postprocessors. This method is recommended for modelling the spatial work of the building frame, to assess the effort and reinforcement of the necessary slabs, frame elements and foundations.

Key words. Monolithic slab, hollow liner, tense state, modelling, numerical methods.