

УДК 624.012.35

**МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ
ПОЛЕГШЕНИХ БАГАТОШАРОВИХ ПЕРЕКРИТЬ**

**SIMULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF LIGHTWEIGHT
MULTILAYER OVERLAP**

Вознюк Л.І., к.т.н., ORCID ID: 0000-0001-9512-8338 (Національний університет "Львівська політехніка")

Vozniuk L.I., PhD, ORCID ID: 0000-0001-9512-8338 (National University "Lviv Polytechnic")

Наведено особливості побудови 3D-розрахункових моделей багатошарових плит перекриття із врахуванням фізичної нелінійності, показано результати розподілу напружень по висоті перерізу плит у місцях максимальних згинальних моментів, при двох різних схемах обпирання. Проведений порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних результатів.

In order to establish the main lines of research, we have made a review of existing scientific research and modern needs of the construction industry in the part of reinforced concrete structures, namely, overlapping disks. The current issue is the problem of increasing the energy efficiency and sound resistance of inter-floor structures that can be provided with various materials in the ceiling. Taking into account the complexity of the stress-strain state of multilayer overlappings and analyzing the problem thereafter, the task was to develop finite-element models of three-layer overlappings with two support options. The first option represents the example of support of the rectangular that was carried out on two sides by the beam scheme, and in the second one, the square plate pillars were fixed in the corners behind the non-backtronic scheme.

Construction of 3D calculation models was performed with the help of CE-241 and CE-231. The rigidity of the outer layers of concrete was set using the CE-241, which characterizes the rectangular layers of the shell. The middle lightweight concrete layer was made of CE-231, which works as volumetric finite elements and is intended to solve spatial problems of the theory of elasticity, as well as for determination of the stress-strain state of spatial structures.

To calculate the nonlinear problem, when describing the stiffness of the plate element, the exponential dependence between stresses and deformations was used to take into account the real physical and mechanical characteristics of both heavy and light concrete, as well as the broken line law like "deformation-stress" for the working armature of the lower layer of the test plate.

On the basis of calculations, the maximum stresses N_x compression and tension in the sections of three-layer plates (beam and beamfree) are located in the upper and lower shelves, respectively. As a result, the thickness of the upper layer of heavy concrete is sufficient for the perception of the compressive forces, and the strength of the middle layer of light concrete is sufficient for the work of the multilayer bending element as a solid reinforced concrete one.

The compressed concrete zone in those two investigated overlap structures before the stage of destruction was in the upper compressed layer of heavy concrete, so that ensured the joint work of the ball structure as a solid reinforced concrete one, and also made the phenomenon of displacement impossible.

Ключові слова: багат шарові плити перекриття, моделювання, фізична нелінійність, скінченні елементи, закони деформування, деформації, легкий бетон. Multilayer slabs of overlap, modeling, physical nonlinearity, finite elements, laws of deformation, deformation, lightweight concrete.

Вступ. Все більш слушною та актуальною постає проблема підвищення якості будівельних виробів з точки зору енергоефективності та звуконепроникності, що може бути забезпечено комбінацією складу конструкції перекриття, використовуючи в одному елементі матеріали із різними та ефективними характеристиками. Проектування перекриття із використанням різних фізико-механічних характеристик матеріалів дозволяє створювати раціональні та ефективні конструкції, в які мають підвищені теплотехнічні та звукоізоляційні характеристики, а також є значно легшими у порівнянні із суцільними залізобетонними.

Враховуючи, що матеріали багат шарових плит мають відмінні фізико-механічні характеристики важливим на сьогоднішній день є питання розподілу напружень у конструкції по висоті. Зрозуміти цей розподіл дозволять різноманітні розрахункові комплекси, які створені на основі методу скінченних елементів. В Україні такою програмою є ПК “ЛІРА-САПР”. Створення розрахункових моделей та аналіз розподілу напружень дозволяє законструювати максимально ефективні та раціональні конструкції, які будуть мати якісні відмінності від класичних суцільних залізобетонних.

Аналіз останніх досліджень. Схожими дослідження займаються науковці в Україні та світі. Зокрема відомі розробки Харківської школи будівельних конструкцій під керівництвом проф. Шмуклера В.С. [2]. В НУ “Львівська політехніка” цим питанням займаються дослідники під керівництвом проф. Демчини Б.Г. [3]. У Європейському союзі та США зменшення власної ваги вирішується із використанням пластикових пустотоутворюючих вставок таких виробників як Airdeck System, BubbleDeck System, COBIAX System, DALIFORM та ін.. Створенням розрахункових моделей та дослідженням напружено-деформованого стану таких конструкцій займаються також дослідники Массачусетського технологічного університету [3].

Постановка мети і задач досліджень. Враховуючи складність напружено-деформованого стану багатошарових конструкцій перекриття та провівши аналіз проблеми було поставлено завдання розробити просторові розрахункові 3D скінченно-елементні моделі тришарового перекриття при двох варіантах опирання. У першому варіанті опирання прямокутної здійснювалося на дві сторони за балочною схемою, а у другому опори квадратної плити закріплювалися в кутах за безбалочною схемою.

Провести верифікацію результатів розрахунку багатошарових плит перекриття із експериментальними дослідженнями [4,5].

Методика досліджень. Для отримання розподілу напружень використовувався програмний комплекс “ЛІРА-САПР 2018”.

Було розроблено моделі для нелінійного розрахунку балочних тришарових плит та квадратних безбалочних плит. Побудова виконувалася за допомогою SE-241 та SE-231. Жорсткість зовнішніх шарів бетону задавалася SE-241, який характеризує прямокутні в плані оболонки. Середній шар із легкого бетону виконувався із SE-231, який працює як об’ємні скінченні елементи та призначений для вирішення просторових задач теорії пружності.

Для розрахунку нелінійної задачі, при описанні жорсткостей елемента плити, використовувалася експотенційна залежність між напруженнями та деформаціями для врахування реальних фізико-механічних характеристик важкого бетону і легкого бетонів, а також закону ламаної типу “деформація-напруження” для робочої арматури нижнього шару дослідної плити. Фізико-механічні характеристики бетону та арматури визначалися експериментально на зразках, з яких були виготовлені дослідні багатошарові плити перекриття .

Використання законів деформування дозволяло вирішувати фізично-нелінійні задачі кроковим методом та аналізувати напружено-деформований стан згинаної конструкції на кожному етапі завантаження та порівнювати теоретичні значення із експериментальними.

Розрахункова модель тришарової балочної плити (рис. 1) складалася із 945-ти вузлів та із 896-ти скінченних елементів.

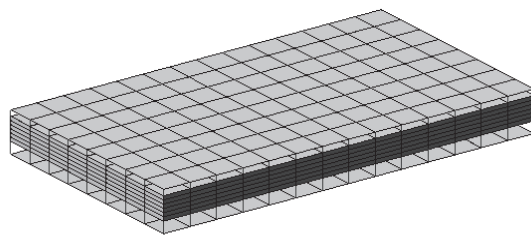


Рис. 1. Розрахункова модель тришарової балочної плити

Побудова верхнього та нижнього залізобетонних шарів виконувалася за допомогою 224-рьох прямокутних у плані елементів оболонки SE-241, розмірами 50x50 мм і висотою 40 мм нижнього шару та 20 мм верхнього. Моделювання середнього шару із газобетону виконувалося із використанням об’ємних скінченних елементів SE-231, яких було 672 штуки з розмірами у

плані 50x50 мм і висотою 10 мм. Опори задавалися шарнірно, як для балочного згинаючого елемента у коротшій стороні.

Результати досліджень. Розподіл стискаючих та розтягнутих напружень з зони дії максимального згинального моменту у плоских та об'ємних скінченних елементах по висоті перерізу багат шарової балочної плити зображено на рис. 2.

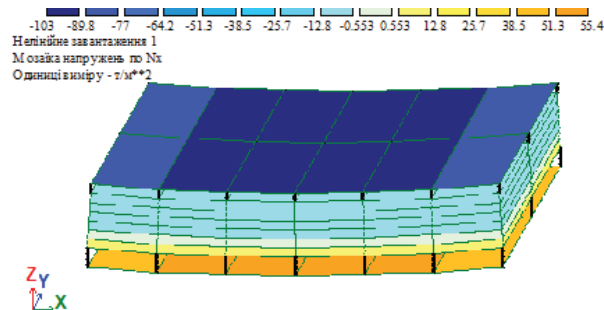


Рис. 2 Розрахункові значення розподілу напружень Nx тришарової балочної плити в зоні дії згинального моменту

Як видно із рис. 3 максимальні напруження Nx стиску та розтягу в перерізі тришарової балочної плити розташовані у верхній та нижній полицях відповідно. У результаті товщина верхнього шару із важкого бетону є достатньою для сприйняття стискаючих зусиль, а міцність середнього шару із легкого бетону є достатньою для роботи багат шарового згинаючого елемента як суцільного залізобетонного.

Щоб підтвердити результати теоретичних досліджень було виконані експериментальні випробування зразків багат шарових збірних плит перекриття [4] та отримано розподіл відносних деформацій на гранях плити в зоні дії максимального згинального моменту (рис. 3).

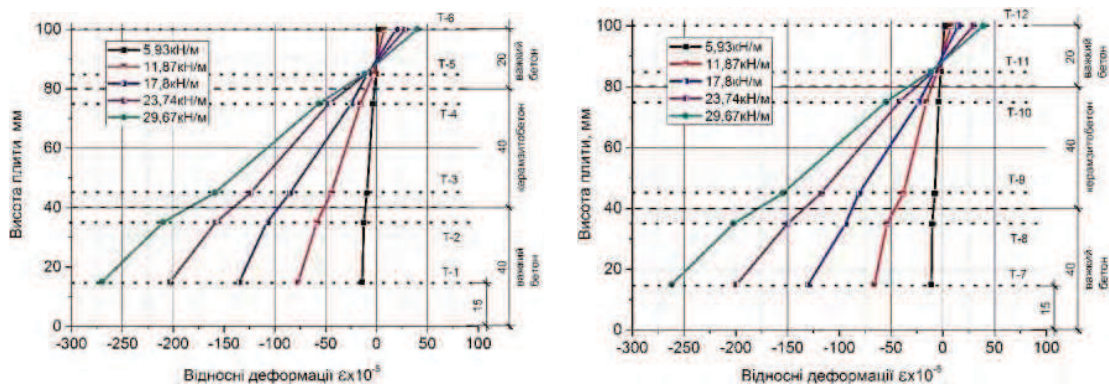


Рис. 3. Відносні деформації на гранях балочної плити

На графіках відносних деформацій, по висоті перерізу, спостерігається лінійний розподіл деформацій, що дозволяє, для аналізу роботи тришарової балочної плити, прийняти гіпотезу про лінійний розподіл деформацій.

Із рис. 3 та 4 видно, що стиснута зона бетону протягом усього дослідження конструкції на згин знаходилася у верхньому шарі із важкого

бетону. Згідно результатів експерименту, висота стиснутої зони, в момент текучості арматури, була рівна 11,5 мм.

На основі цього можна констатувати, що у випадку розташування стиснутої зони бетону у верхньому шарі із важкого бетону балочна багатошарова конструкція працює як звичайний згинаний залізобетонний елемент та може бути розрахована із використанням діючих нормативних документів [6,7].

Розрахункова модель безбалочної багатошарової плити складалася із 8405-ти вузлів та із 9600 скінченних елементів (рис. 4). Опирання виконувалося шарнірно у чотирьох кутах. Робота плити аналізувалася у характерних точках по самому центру плити та по середині контуру на краю плити у зоні дії максимальних згинальних моментів [5].

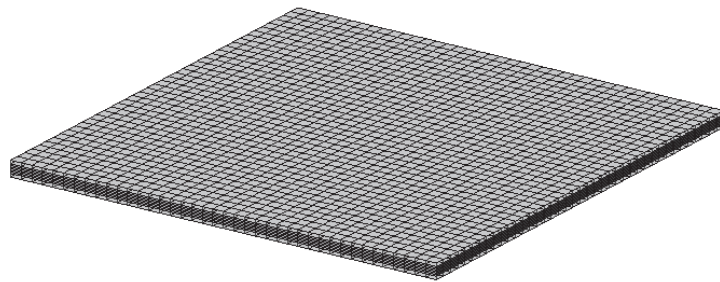


Рис. 4. Модель багатошарової безбалочної плити

По аналогії до попередньої вище наведеної моделі верхній та нижній шари моделювалися елементами оболонки, а середній шар із використанням об'ємних скінченних елементів. Верхній та нижній шари містили у собі по 1600 прямокутних елементів оболонки SE-241 розмірами у плані 50x50 мм і висотою 30 мм. При моделюванні середнього шару із керамзитобетону було використано 3200 об'ємних елементів SE-231, з розмірами у плані 50x50 мм і висотою 10 мм. Поля розподілу напружень N_x та N_y у дослідній конструкції показано на рис. 5.

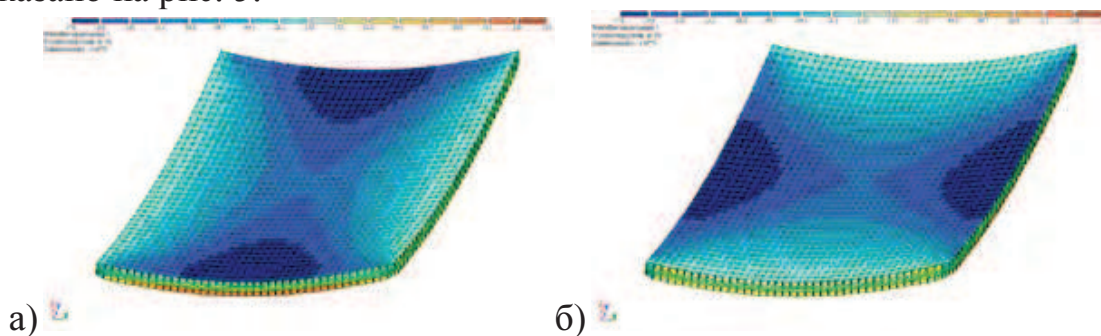


Рис. 5. Розподіл напружень N_x (а) та N_y (б) у багатошаровій плиті.

Як видно із рис. 5 характер напружень багатошарової безбалочної плити відповідає роботі класичної залізобетонної плити, яка опирається на чотири кути. Максимальні напруження концентруються на контурах плит по середині прольотів, що підтверджується відповідними залежностями [8]. Розподіл напружень по висоті шарів в характерних точках, а саме на краю по середині контуру та в центрі плити зображено на рис.6.

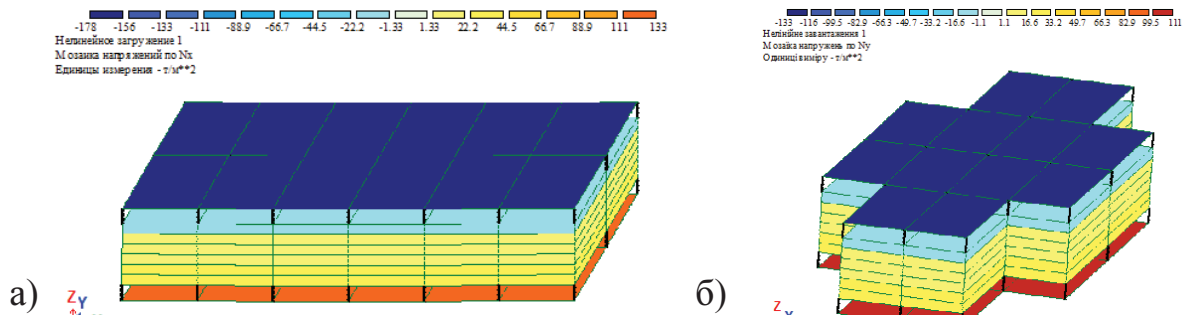


Рис.6. Розрахункові напруження N_x тришарової безбалочної плити на краю в середині прольоту (а) та по центру (б).

Максимальні напруження N_x стиску та розтягу на контурі (рис. 6а) та в центрі плити (рис. 6б) багатошарової безбалочної плити розташовані у верхній та нижній полицях відповідно.

Після виконання теоретичних досліджень були виконані експериментальні дослідження збірних безбалочних багатошарових плит перекриття [5] та отримано розподіл відносних деформацій на взаємно перпендикулярних гранях по середині граней плити в зоні дії максимального згинального моменту (рис. 7).

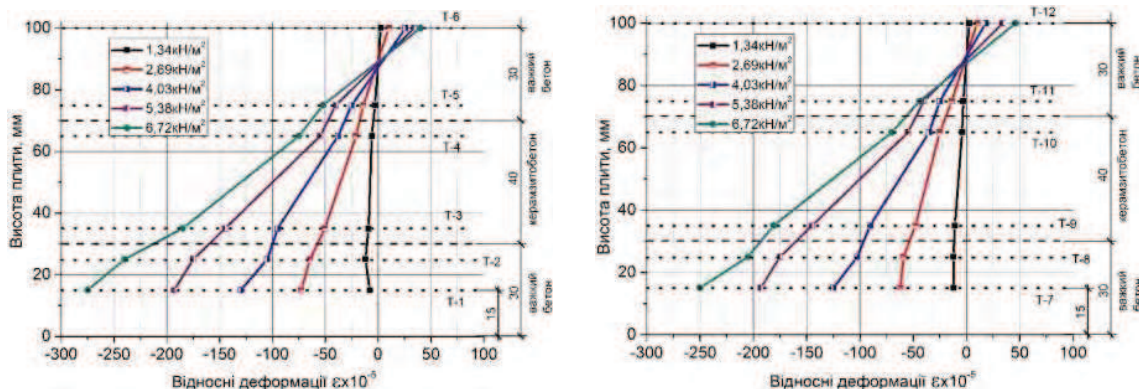


Рис. 7. Відносні деформації на взаємно перпендикулярних гранях багатошарової безбалочної плити

Характер розподілу відносних деформацій по висоті грані плити має, як і у балочних плитах, має лінійний характер, що також підтверджує гіпотезу про лінійний розподіл деформацій.

Стиснута зона бетону до стадії руйнування знаходилася у верхньому стиснутому шарі із важкого бетону (рис. 6, 7), що забезпечило сумісну роботу шарової конструкції як суцільної залізобетонної, а також унеможливило явище зсуву. Інженерний розрахунок можна виконувати за деформативною методикою, згідно діючих нормативних документів, перевіряючи перерізи у місцях найбільших згинальних моментів [6,7].

Висновки. Створенні розрахункові просторові 3D скінченно-елементні моделі багатошарових плит перекриття із середнім шаром з легкого бетону при балочній та безбалочній схемах опирання з використанням фізично-нелінійних елементів оболонки №241 та об'ємних елементів №231, що дозволило проаналізувати

напружено-деформований стан конструкції протягом усього експерименту кроковим методом.

Виконано порівняння теоретичного і експериментального характеру розподілу деформацій та напружень по висоті шарів плити та отримано хорошу збіжність результатів. На основі досліджень встановлено, що якщо стиснута зона бетону багат шарової плити знаходиться у верхньому шарі із важкого бетону, то це забезпечує сумісну дію шарів між собою і дозволяє виконувати розрахунок такої плити як суцільної залізобетонної на основі деформаційної методики, згідно діючих нормативних документів.

1. Вознюк Л.І. Несуча здатність та деформативність багат шарових плит перекриття: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.23.01. Львів, 2018. 21 с..

Vozniuk L.I. Nesucha zdatnist ta deformatyvnist bahatosharovykh plyt perekryttia: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : 05.23.01. Lviv, 2018. 21 s.

2. Shmukler, V.S. Evolutionist approach in rationalization of building structures. ISEC-03 Third International Structural Engineering and construction Conference : Shunan, Japan, 2005. pp.539-545.

3. Lai, T., Connor, J.J., Veneziano, D. Structural behavior of BubbleDeck slabs and their applicatiob to lightweight bridge decks, Massachusetts. 2010.

4. Вознюк Л.І., Демчина Б.Г., Дубіжанський Д.І. Дослідження трьох шарових балочних плит на згин. *Вісник НУВГП*. 2014. № 4(68). С. 232-238.

Vozniuk L.I., Demchyna B.H., Dubizhanskyi D.I. Doslidzhennia trokhsharovykh balochnykh plyt na zghyn. *Visnyk NUVHP*. 2014. № 4(68). S. 232-238.

5. Вознюк Л.І., Демчина Б.Г., Дубіжанський Д.І. Результаты исследования трехслойных плит перекрытия на изгиб *Вестник БГТУ*. 2015. № 1(91). С.28-32.

Vozniuk L.Y., Demchyna B.H., Dubyzhanskyi D.Y. Rezultaty yssledovanyia trekhslainykh plyt perekrytyia na yzghyb *Vestnyk BHTU*. 2015. № 1(91). S.28-32

6. ДБН В.2.6-98: 2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Київ, 2009. 72 с. (Стандарт Мінрегіонбуду України).

DBN V.2.6-98: 2009. Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia. Kyiv, 2009. 72 s. (Standart Minrehionbudu Ukrainy).

7. ДСТУ Б В.2.6-156:2010 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. Київ, 2011. 118 с. (Стандарт Мінрегіонбуду України).

DSTU B V.2.6-156:2010 Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii z vazhkoho betonu. Pravyla proektuvannia. Kyiv, 2011. 118 s. (Standart Minrehionbudu Ukrainy).

8. Вайнберг Д.В., Вайнберг Е.Д. Расчет пластин: навч. посіб. Будивельник, Київ, 1970. 434 с.

Vainberh D.V., Vainberh E.D. Raschet plastyn: navch. posib. Budyvelnyk, Kyiv, 1970. 434 s.