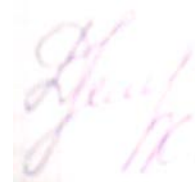


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"**



ДЕМЧИНА ХРИСТИНА БОГДАНІВНА

УДК 624.073.001.5

**МІЦНІСТЬ ТА ДЕФОРМАТИВНІСТЬ ПІНОБЕТОННИХ ПЛИТ
НА ПРОДАВЛЮВАННЯ ШТАМПОМ**

Спеціальність 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів - 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті “Львівська політехніка” (Міністерство освіти і науки України).

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор,
Коваль Петро Миколайович,
завідувач кафедри Архітектурних конструкцій
Національна академія образотворчого мистецтва
і архітектури МОН України.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Лапенко Олександр Іванович,
завідувач кафедри комп'ютерних технологій будівництва,
Національний авіаційний університет МОН України;

кандидат технічних наук, доцент
Фамуляк Юрій Євгенович,
доцент кафедри технології та організації будівництва,
Львівський національний аграрний
університет МОН України.

Захист відбудеться “31” березня 2016 р. о 13:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д35.052.17 Національного університету “Львівська політехніка” за адресою: 79013, м. Львів, вул. Карпінського, 6, ауд. 212.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розіслано “26” лютого 2016 р.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент



П.Ф. Холод

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасний розвиток будівництва стимулює використання легких енергозберігаючих матеріалів, виробів та конструкцій, особливо тих, які виготовлені з ніздрюватих бетонів.

До ніздрюватих бетонів відносяться газобетони і пінобетони автоклавного та неавтоклавного виготовлення, які почали широко використовуватися в будівництві ще у першій половині минулого століття завдяки своїм високим тепло- та звукоізоляційним властивостям при достатній механічній міцності, незначній вазі та високих показниках пожежної безпеки. В останні роки набув більшого розповсюдження у будівництві неавтоклавний пінобетон через появу нових технологій його виготовлення із застосуванням піноутворюючих добавок, які дозволяють виготовляти пінобетон у великій кількості та у великих об'ємах.

З пінобетону виготовляють неармовані та армовані вироби, які сьогодні, в основному, представлені блоками для зовнішніх і внутрішніх стін будівель різного призначення, пінобетонними монолітними плитами покриття або перекриття над підвалами будівель, а також в основах під дорожнє покриття. На такі конструкції часто діють локальні вертикальні навантаження у виді зосередженої сили, яка прикладається через обмежену площу. Такі дії викликають місцеве зминання пінобетону та продавлювання плитних пінобетонних конструкцій, а станом на сьогодні в Україні відсутні норми проектування таких конструкцій на продавлювання.

Тому, дослідження пінобетонних плит на продавлювання від локальних навантажень з врахуванням їх міцнісних та деформаційних властивостей допоможе вирішити актуальну проблему з впровадження енергозберігаючих конструкцій в будівництві України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дана наукова робота була розроблена відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри будівельного виробництва Національного університету «Львівська політехніка», а також згідно з Програмою розвитку виробництва ніздрюватобетонних виробів та їх використання у будівництві на 2005-2011 роки, затвердженою постановою Кабінету Міністрів України №684 від 26 травня 2004 р. та угодою з ДерждорНДІ (м. Київ) з державним реєстраційним номером 0106V005366 на розробку «Рекомендацій з використання в дорожньому будівництві пінобетонів» (Р.В.2.7-218-03450778-681:2007).

Мета роботи - встановити міцність та деформативність неармованих і армованих різними видами армування пінобетонних плит опертих по контуру на продавлювання квадратним жорстким штампом та розробити рекомендації з їх проектування.

Задачі дослідження:

- на основі аналізу існуючих літературних джерел за результатами раніше проведених досліджень ніздрюватих бетонів та конструкцій з них, а також, враховуючи потреби сучасного будівельного ринку, встановити доцільність та напрямки дослідження пінобетону на продавлювання штампом;

- визначити та систематизувати фізико-механічні характеристики конструктивно-теплоізоляційного пінобетону, неметалевої та металевої арматури;
- розробити методика та провести експериментальні дослідження пінобетонних плит опертих по контуру на продавлювання штампом та встановити доцільність їх армування і вибору його оптимального виду;
- виконати порівняльний аналіз отриманих результатів експериментальних та теоретичних досліджень неармованих та армованих пінобетонних плит та встановити закономірності впливу міцності пінобетону, товщини плит, виду та характеру армування на несучу здатність плит на продавлювання;
- розробити рекомендації з розрахунку та проектування пінобетонних неармованих та армованих плит, що працюють на продавлювання жорстким штампом та виконати впровадження результатів досліджень.

Об'єкт дослідження – напружено-деформований стан пінобетонних плит, що працюють на продавлювання.

Предмет дослідження – міцність та деформативність пінобетонних плит на продавлювання жорстким штампом.

Методи дослідження:

- експериментальні дослідження міцності та деформативності пінобетонних плит на продавлювання за спеціально розробленою методикою;
- порівняльний аналіз отриманих результатів досліджень з використанням статистичних і математичних методів аналізу;
- аналітичні методи, засновані на використанні існуючих нормативних та рекомендаційних документів, на основі яких з врахуванням результатів досліджень розроблені рекомендації з проектування пінобетонних плит на продавлювання жорстким штампом.

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше отримані експериментальні дані роботи плит з неармованого та армованого поліпропіленовою фіброю, металевою та неметалевою горизонтальною арматурою неавтоклавного пінобетону на продавлювання штампом;
- визначені фізико-механічні характеристики міцності звичайного неавтоклавного конструктивно-теплоізоляційного пінобетону та пінобетону, армованого поліпропіленовою фіброю, і отримані математичні залежності цих характеристик в залежності від густини (марки) пінобетону;
- розроблена методика дослідження пінобетонних плит на продавлювання, яка дала можливість дослідити роботу плит в залежності від виду армування, його розміщення в перерізі плит з різною довжиною анкерування;
- розроблена методика розрахунку на продавлювання штампом пінобетонних плит армованих горизонтальною металевою арматурою на основі класичної теорії пружності та розрахунку залізобетонних згинаних елементів за першим граничним станом з використанням розрахункових перерізів трапецієвидної форми та врахуванням довжини анкерування арматури в пінобетоні;

– науково обґрунтовано доцільність та ефективність розміщення горизонтального армування у пінобетонних плитах, які працюють на продавлювання штампом, і розроблені відповідні рекомендації з проектування.

Особистий внесок здобувача:

– запропоновано та реалізовано методику дослідження міцності та деформативності пінобетонних плит на продавлювання жорстким металевим штампом;

– розроблена конструкція пінобетонних призм з арматурними анкерами та спеціальний анкерний захват для дослідження пінобетону на центральний розтяг;

– отримані та систематизовані результати дослідження фізико-механічних характеристик міцності пінобетону звичайного та пінобетону армованого фіброю;

– розроблено методику дослідження величини осідання штампів в пінобетоні в залежності від його марки та зовнішнього навантаження і отримані відповідні номограми;

– запропоновано розрахунок пінобетонних плит армованих горизонтальною металевою арматурою, які працюють на продавлювання штампом, як плит, опертих по контуру, що працюють на згин із трапецієвидною формою поперечного перерізу, який має контури піраміди продавлювання з відповідним коефіцієнтом включення поздовжньої робочої арматури;

– розроблено рекомендації з проектування пінобетонних неармованих та армованих металевою і неметалевою арматурою, а також поліпропіленовою фіброю плит, які працюють на продавлювання.

Апробація результатів дисертації. Результати даної дисертаційної роботи були оприлюднені та обговорені на: II Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми теорії споруд, проектування, будівництва та експлуатації мостів» (м. Київ, 19-21 березня 2008 р.); X Ювілейній Міжнародній промисловій конференції «Ефективність реалізації наукового, ресурсного і промислового потенціалу в сучасних умовах» (м. Славське, 18-22 лютого 2010 р.); VI Всеукраїнській науково-технічній конференції «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону» (м. Одеса, 24-27 травня 2011 р.); Всеукраїнській інтернет-конференції, організованій Полтавським технічним університетом ім. Ю. Кондратюка (21-22 листопада 2012 р.); XV Міжнародному науково-практичному форумі «Теоретичні основи і практичні аспекти використання ресурсощадних технологій для підвищення ефективності агропромислового виробництва і розвитку сільських територій» (м. Дубляни, 24–26 вересня 2014 р.); наукових семінарах кафедри «Будівельного виробництва» Національного університету «Львівська політехніка» (м. Львів, 2007-2014 рр.).

Публікації. Протягом виконання дисертаційної роботи було опубліковано 13 наукових праць, з них: 10 статей у наукових збірниках, які входять до переліку рекомендованих ВАК України [1-3; 5-11], 2 публікації в матеріалах Міжнародних конференцій [4; 12], 1 стаття в закордонному науковому виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази [13]. Отримано 2 патенти України на корисну модель [14; 15].

Структура і обсяг дисертації. Дана дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, списку використаних джерел (143 найменування), 5 додатків. Робота викладена на 154 сторінках машинописного тексту, з яких 141 сторінка основного тексту із 17 таблицями і 98 рисунками.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету й задачі досліджень, визначено наукову новизну проблеми та практичну цінність результатів, подано загальну характеристику та відомості про склад дисертації, а також інформацію про публікації автора.

У **першому розділі** проведено огляд наукових досягнень в галузі проектування та експлуатації конструкцій з пінобетону. Огляд містить критичний аналіз науково-технічної та методично-нормативної літератури для розрахунку плит на продавлювання.

Вперше легкий бетон було використано ще у 126 р. н. е. при зведенні куполу Пантеону в Римі. У 1891 р. Е. Гоффман (Чехія) отримав ніздрюватий бетон внаслідок додавання до свіжоприготовлених цементних і гіпсових розчинів кислот, вуглекислих і хлористих солей. Дослідженнями ніздрюватих бетонів займалися: Байер Е. К., Еріксон А., Брюшков А.А., Гензлер М.Н., Шульц К.І., Ребіндер П.А., Кауфман Б.Н., Боженів П.І та ін.

Результати дослідження конструкцій з неавтоклавного пінобетону на сьогоднішній день представлено в роботах: Закорчемного Ю.О., Мартинової О.Б., Орлова Д. А. (ОДАБА), Литвиняк О.Я, Верби В.Б. (НУЛП), Кривенка П.В., Ковальчука О.Ю. (КНУБА) та ін.

Станом на сьогодні пінобетон успішно використовується у стінових конструкціях, плитах перекриття та покриття, фундаментних плитах, основах під дорожнє покриття та у спеціальних спорудах, таких як: мости, великопрогонові конструкції покриття та ін. У багатьох з перелічених конструкцій актуальною є проблема продавлювання пінобетону від дії зосереджених сил.

Дослідження на продавлювання залізобетонних плит мають столітню історію. У цьому напрямку працювали вчені: Васильєв А.П., Elstner R.C., Hognestad E., Forsell C., Holmberg A. N., Graf O., Kinnunen S., Nylander H., Talbot A.N., Richart F., Yitzhaki D. та ін. За результатами цих досліджень рекомендовано в місцях продавлювання залізобетонних плит встановлювати додаткову поперечну арматуру, що створює суттєві проблеми під час виконання таких робіт, а саме: складність бетонування через велику кількість та щільність поперечної арматури та недостатність анкерування цієї арматури через малу товщину плит. Дуже мало досліджень виконано на продавлювання плит з додатковою поздовжньою (горизонтальною) арматурою. Відомі рекомендації НДІБК (м.Київ), в яких викладено методику розрахунку залізобетонних плит армованих горизонтальною арматурою на продавлювання. Використання додаткової горизонтальної арматури виявилось можливим та таким, що суттєво зменшує трудовитрати та спрощує процес бетонування конструкцій.

Враховуючи незначну міцність неавтоклавного пінобетону та відповідну складність анкерування у ньому поперечної арматури було доцільним провести

дослідження на продавлювання пінобетонних плит армованих горизонтальною металевою та неметалевою арматурою.

У **другому розділі** представлено обсяг та методику експериментальних досліджень. Для реалізації поставленої мети роботи були виготовлені дослідні зразки пінобетонних плит розмірами в плані 500x500 та 870x870 мм, з різною висотою (від 110мм до 240мм), з різним армуванням та без нього. Всього було виготовлено та досліджено 30 плит.

Плити марок П-1... П-8 були виготовлені з пінобетону проектної марки за густиною D700...D1000 без армування з метою дослідження роботи пінобетонних плит без армування.

Плити марок П-9...П-11 були армовані металевими сітками з коміркою 50x50 мм із арматури Ø4 Вр-І з різним їх розташуванням по висоті з метою встановлення їх впливу на роботу плит від продавлювання.

У плитах марок П-12...П-20 було використано різноманітне армування металевою та неметалевою арматурою з метою встановлення ефективності такого армування.

Для плит марок П-21...П-24 був використаний фібропінобетон з додаванням до пінобетону при замішуванні поліпропіленової фібри довжиною волокна 12 мм в кількості 900 г/м³ суміші з метою збільшення їх міцності.

Плити марок П-25...П-26 були виготовлені розміром в плані 870 x 870 мм висотою 150 мм з метою встановлення впливу збільшення розмірів плит в плані на характер руйнування при однакових розмірах опорного столика.

Плити марок П-27...П-30 були армовані металевими сітками з коміркою 50x50 мм із арматури Ø4 Вр-І з додатковим їх анкеруванням в одному напрямку у верхній зоні плити. Це виконувалося з метою встановлення впливу величини анкерування сіток та його напрямку на роботу плит при продавлюванні.

Була запроєктована та виготовлена дослідна установка для випробування на продавлювання пінобетонних плитних зразків штампом (рис. 1).

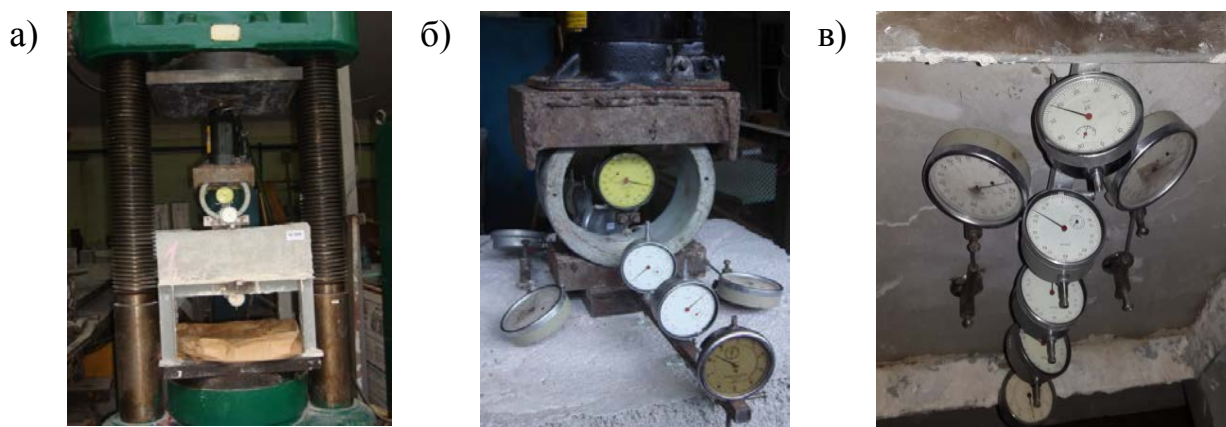
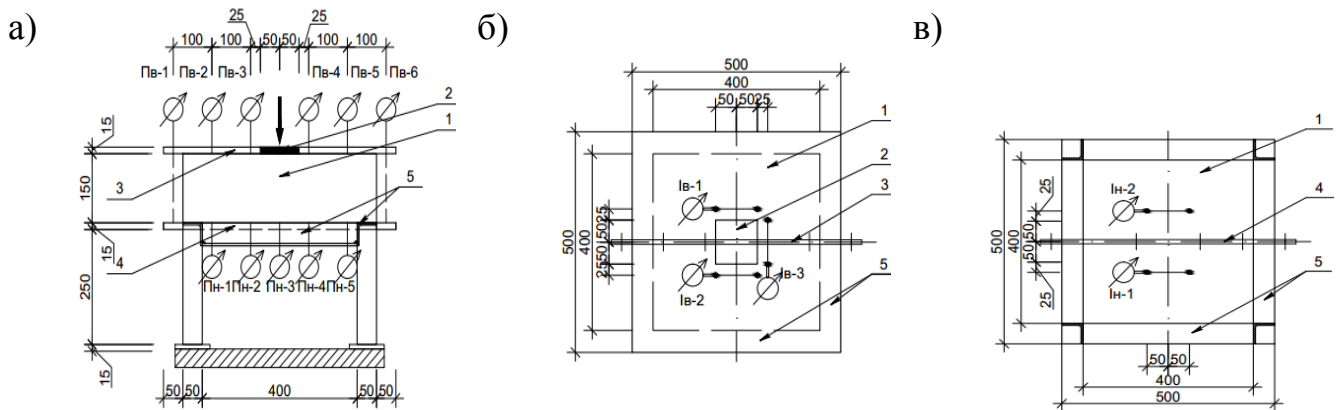


Рис. 1. Загальний вигляд дослідного обладнання: а) випробувальний стенд; б) розміщення приладів у верхній зоні; в) розміщення приладів у нижній зоні

Установка складалася з опорного металевого столика 5 (рис. 2), виготовленого з металевого кутника (L50x5) з внутрішнім отвором 400x400, на який встановлювався дослідний зразок плити 1, до якого прикладалося зовнішнє

вертикальне навантаження гідравлічним домкратом (див. рис. 1, б), через металевий штамп 2 розміром 100х100х25 мм.



1 - дослідний зразок; 2 - металевий штамп; 3 - верхня планка;
4 - нижня планка; 5 – опорний столик L50x5

Рис. 2. Схема установки для випробувань:

- а) схема розміщення індикаторів Пв-1... Пв-6 та Пн-1...Пн-5
(загальний вигляд збоку);
б) схема розміщення мікроіндикаторів Ів-1... Ів-3 (вигляд зверху);
в) схема розміщення мікроіндикаторів Ін-1... Ін-2 (вигляд знизу)

В процесі випробування пінобетонних плит на продавлювання штампом фіксувались вертикальні переміщення плит годинниковими індикаторами Пв-1...Пв-6 та Пн-1...Пн-5, деформації пінобетону у взаємоперпендикулярних напрямках у стиснутій зоні мікроіндикаторами Ів-1...Ів-3 та у нижній розтягнутій зоні мікроіндикаторами Ін-1, Ін-2 на базі 100мм.

Відповідно до ДСТУ Б В.2.7-214:2009 та ДСТУ В.2.7-217:2009 були виконані дослідження міцності пінобетону на стиск, на центральний розтяг (для «вісімок» та призм), на розтяг при розколюванні (для фрагментів пінобетонних «вісімок» та призм), на розтяг при згині (для призм) з поперечним перерізом 150х150 мм.

Відповідно до ГОСТ 12004-81 були проведенні дослідження міцності на розтяг арматурної сталі Ø4 Вр-I, а також аналогічні дослідження на розтяг штукатурної склосітки (коміркою 5х5 мм) та сітки "Armtex". Дослідні зразки з неметалевої арматури були виготовлені у вигляді рулонів висотою 600 мм, скручених з окремих полотен сіток розміром 600х500 мм.

Для забезпечення надійного закріплення рулонів зі склосітки у губках розривної машини використовувалися металеві трубки довжиною 100 мм, діаметром 16 мм, в які запресовувалася склосітка після її замочування в епоксидному клеї, а для рулонів із сітки «Armtex» виготовлялися спеціальні муфти довжиною 100 мм з епоксидного клею, залитого у поліетиленові трубки.

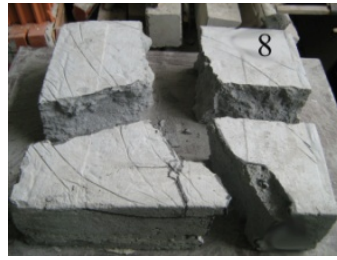
У **третьому розділі** викладені результати експериментальних досліджень.

Неармовані пінобетонні плити зруйнувались у формі розколювання на 3 та 4 окремих частини, а армовані поліпропіленовою фіброю – на 4...8 частин (рис.3).

П - 7, збоку



П - 8, збоку



П-23, знизу



Рис. 3. Характерні вигляди пінобетонних плит після випробувань

За результатами експериментальних досліджень було виконано наступні висновки:

- наявність поліпропіленової фібри у пінобетоні збільшила несучу здатність плит в 1,58 рази та привела до руйнування їх на більшу кількість частин;
- збільшення марки пінобетону з D800 до D1050 збільшило несучу здатність плит у 2,22 рази;
- збільшення висоти плити зі 120 мм до 150 мм при однаковій марці пінобетону збільшило несучу здатність плит в 1,29 рази.

В процесі досліджень було зафіксовано суттєве просідання штампу у пінобетоні (рис. 4) та зминання пінобетону плит по периметру опорного столика.



Рис. 4. Осідання штампу в пінобетоні плит

Тому були виконані додаткові дослідження з метою отримання експериментальних залежностей величини осідання штампу від марки пінобетону та тиску під штампом.

Результати цих досліджень представлені у виді номограм на рис.5.

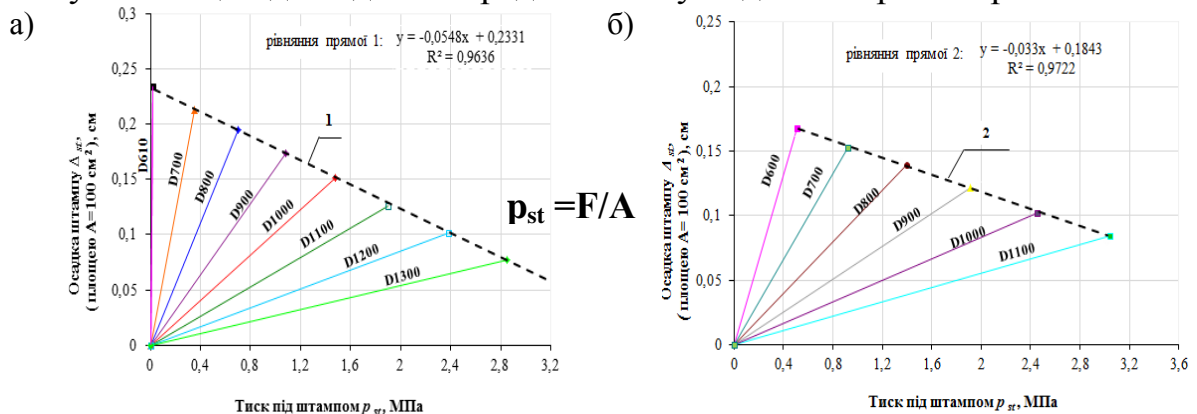


Рис. 5. Номограми для знаходження осадки штампу у пінобетоні:
а) у звичайному; б) у армованому поліпропіленовою фіброю

У плитах армованих металевою арматурою руйнування відбулося по піраміді продавливання (рис.6).

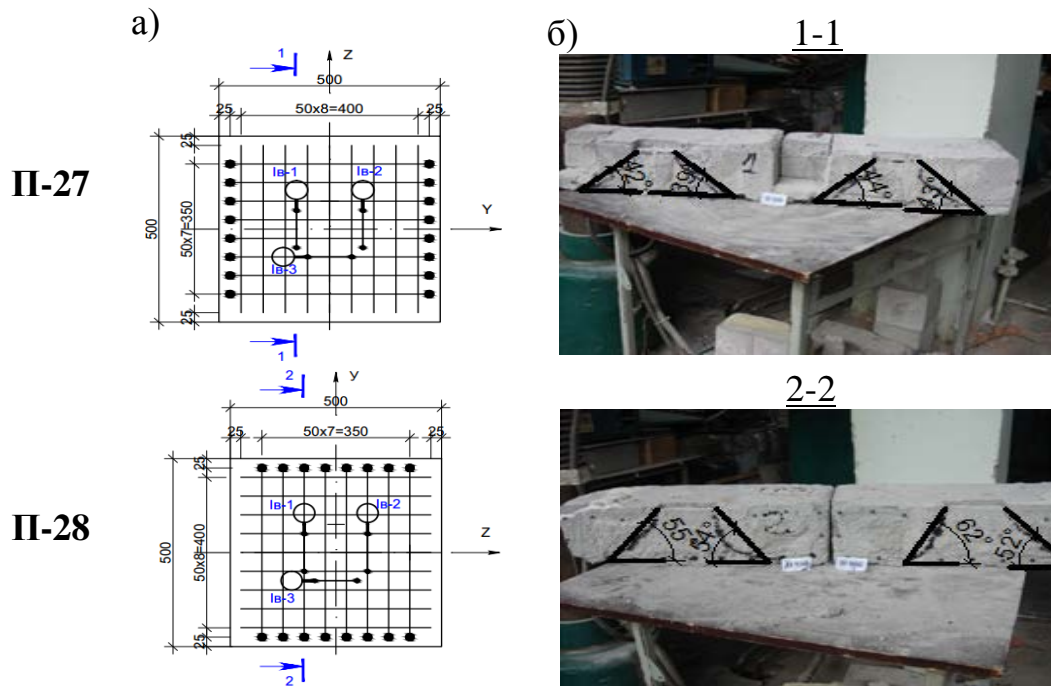


Рис. 6. Пінобетонні армовані плити марок П-27, П-28 після випробувань:
 а) схема армування; б) вигляд плит після розрізу навпіл
 ● → - арматурний стержень з анкеруванням у верхню зону плити

Усі плити після випробувань були розрізані навпіл з метою уточнення захисного шару арматури та заміру кутів нахилу піраміди продавливання. Було виявлено суттєвий вплив напрямку розміщення заанкереної горизонтальної арматури на нахил бокових поверхонь піраміди продавливання. Так, кут нахилу цих поверхонь (для плит марок П-27...П-29) у напрямку заанкереної арматури мав значення близько $51-62^{\circ}$, а у напрямку незаанкереної – близько $34-44^{\circ}$.

За результатами проведених досліджень було встановлено наступне:

- армування металевими сітками верхньої зони плит та кільцевим полосовим армуванням і металевими сотовими сітками в нижній зоні не збільшило несучу здатність плит на продавливання у порівнянні з неармованими плитами, а лише забезпечило їх руйнування по піраміді продавливання;

- армування металевими сітками в нижній зоні плит збільшило їх несучу здатність на продавливання в $1,5\div 3,4$ рази у порівнянні з неармованими плитами лише при забезпеченні достатнього анкерування;

В останній час в дорожньому будівництві для зміцнення основ під дорожнє покриття використовують сітки з неметалевої арматури типу склосіток та «Armtex». Тому були виконані дослідження пінобетонних плит, армованих цими видами неметалевої арматури, які можуть служити основою під дорожнє покриття, на продавливання штампом, що імітує тиск від автомобільних коліс. Вигляд розрізів цих плит після випробувань представлено на рис. 7.

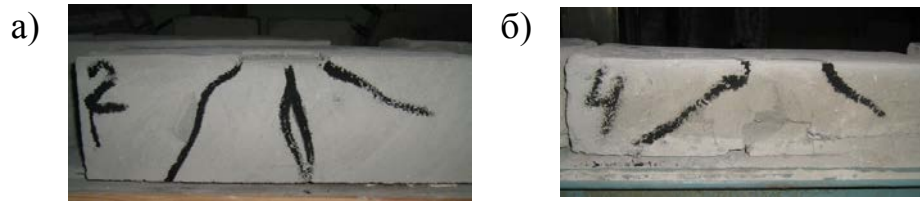


Рис. 7. Вигляди розрізів плит після випробувань: а) плита марки П-16, армована склосіткою; б) плита марки П-20, армована сіткою «Armtex»

За результатами цих досліджень встановлено наступне:

- армування пінобетонних плит неметалевою арматурою призвело до їх руйнування по піраміді продавлювання, не збільшивши при цьому їх несучу здатність у порівнянні з аналогічними неармованими плитами;

- плити армовані сіткою «Armtex» мали значно меншу несучу здатність від плит армованих склосіткою через те, що окремі стрічки сіток «Armtex» через їх форму сприяли горизонтальному розколюванню плит на три частини по висоті.

В процесі випробувань були заміряні та перераховані з врахуванням осідання штампу та опор в пінобетоні максимальні прогини посередині плит (за показами індикаторів Пн-3, Пв-1 та Пв-6), значення яких представлені графічно на рис. 8.

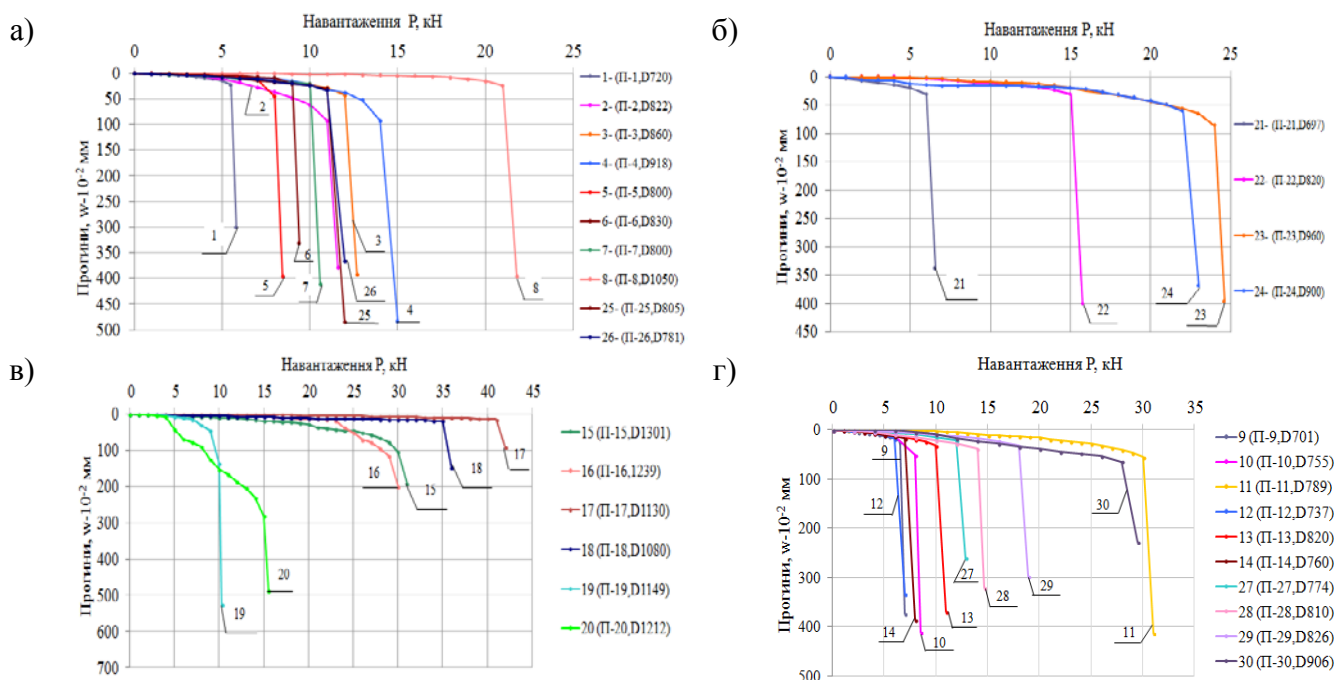


Рис. 8. Прогини для відповідних марок плит: а) неармовані плити; б) плити армовані фіброю; в) плити армовані неметалевою арматурою; г) плити армовані металевою арматурою

За результатами цих досліджень були отримані значення критичних навантажень P_{cr} та прогинів w_{cr} , які були використані для аналізу результатів досліджень (табл.1), а також значення граничних навантажень P_u та прогинів w_u за методикою, представленою на прикладі плити марки П-2 (рис.9).

Значення критичних навантажень і прогинів для дослідних плит

Параметри Марка плити	P_{cr} , кН	w_{cr} , мм	Характер руйнування	Параметри Марка плити	P_{cr} , кН	w_{cr} , мм	Характер руйнування
П-1	5,45	0,175	Р	П-16	28,5	1,10	ПП
П-2	10,85	0,75	Р	П-17	40,8	0,13	ПП
П-3	11,95	0,335	Р	П-18	35,0	0,17	ПП
П-4	13,9	0,595	Р	П-19	9,8	0,58	ПП
П-5	7,95	0,185	Р	П-20	14,9	2,6	ПП
П-6	8,95	0,12	Р	П-21	5,95	0,24	Р
П-7	10,0	0,205	Р	П-22	15,0	0,265	Р
П-8	20,9	0,19	Р	П-23	24,0	0,73	Р
П-9	6,45	0,195	Р	П-24	22,0	0,56	Р
П-10	7,95	0,22	ПП	П-25	11,0	0,26	Р
П-11	13,0	0,51	ПП	П-26	10,95	0,275	Р - ПП
П-12	6,0	0,15	ПП	П-27	13,0	0,22	ПП
П-13	9,95	0,275	ПП	П-28	16,5	0,38	ПП
П-14	7,0	0,16	ПП	П-29	18,0	0,275	ПП
П-15	29,5	0,90	ПП	П-30	19,5	0,65	ПП

Примітки: ПП - піраміда продавлювання, Р - розколювання.

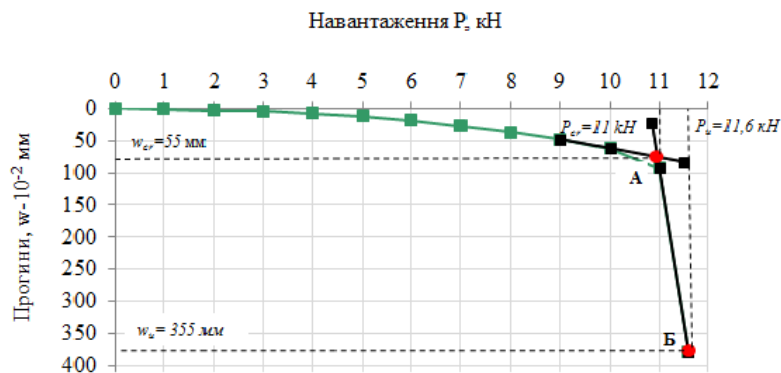


Рис. 9. Експериментальні значення залежності "w - P" для плити марки П-2.

Були проаналізовані покази мікроіндикаторів, встановлених на верхній та нижній поверхнях плит та встановлено, що у всіх плитах спостерігались чітко виражені дві зони роботи плит по висоті, а саме: у верхній зоні – стиск, у нижній – розтяг.

Паралельно з проведенням досліджень плит на продавлювання були виконані дослідження фізико-механічних характеристик міцності пінобетону в залежності від його марки за густиною та отримані відповідні математичні залежності для їх визначення у виді лінійних функцій:

- призмova міцність пінобетону:

$$f_{c,prism} = 1,91 \cdot \gamma + 0,09; \quad (1)$$

- призмova міцність фібропінобетону:

$$f'_{c,prism} = 5,72 \cdot \gamma - 2,18; \quad (2)$$

- модуль пружності пінобетону:

$$E_{cm} = 0,30 \cdot \gamma - 0,07; \quad (3)$$

- модуль пружності фібропінобетону:

$$E'_{cm} = 0,34 \cdot \gamma - 0,10, \quad (4)$$

де $f_{c,prism}$, E_{cm} - приймаються в МПа, а γ – г/см³

Аналіз цих результатів дозволяє стверджувати, що введення в пінобетонну суміш під час бетонування поліпропіленової фібри дозволяє підвищити призмову міцність пінобетону на стиск в діапазоні марок пінобетону від D700 до D1100 в 1,3 ÷ 1,9 разів.

За результатами експериментальних досліджень «вісімок» та призм на центральний розтяг $f_{c,tk}$, на розтяг при розколюванні $f_{c,m}$ та на розтяг при згині $f_{c,tf}$ були визначені залежності міцності звичайного пінобетону та пінобетону з фіброю $f'_{c,tk}$, $f'_{c,m}$, $f'_{c,tf}$ на відповідний тип розтягу від густини γ , які представлені на рис.10.

Встановлено, що введення в пінобетонну суміш під час бетонування поліпропіленової фібри дозволяє покращити міцнісні характеристики пінобетону на центральний розтяг в діапазоні марок пінобетону від D800 до D1200 в 1,8 ÷ 1,5 разів, на розтяг при розколюванні в 3,1 ÷ 1,6 разів, на розтяг при згині в 3,7 ÷ 1,7 разів.

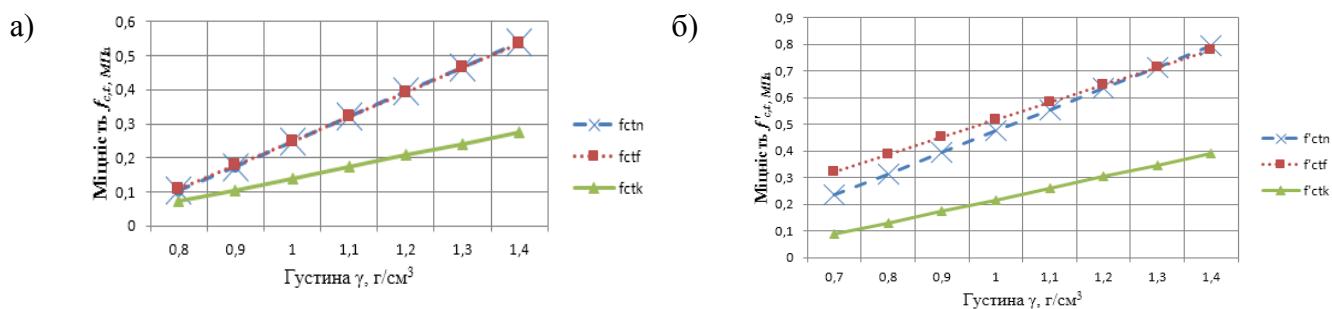


Рис. 10. Узагальнені графіки міцності пінобетону на розтяг: а) залежність міцності пінобетону на розтяг $f_{c,t}$ від густини γ ; б) залежність міцності фібропінобетону на розтяг $f'_{c,t}$ від густини γ

В процесі проведених досліджень пінобетонних призм на центральний розтяг були розроблені спеціальні анкерні захвати та дослідні зразки, на які отримано патенти України № 73083 та № 73084.

Були проведені дослідження металевої та неметалевої арматури на розтяг.

Для подальшого аналізу було використане експериментальне значення міцності металевої арматури $\varnothing 4$ Вр-I на розтяг, яке відповідало міцності арматури на границі текучості $f_y = 562$ МПа та експериментальне значення міцності неметалевої арматури на розтяг, а саме для склосітки - $f_t^* = 0,32$ кН/см та для сітки «Armtex» - $f_t^* = 0,248$ кН/см. Міцність на розтяг для неметалевої арматури прийнята з розрахунку на 1 см ширини сітки.

В четвертому розділі виконано аналіз підходів до розрахунку пінобетонних плит на продавлювання без армування і за наявності у них різного виду горизонтального армування.

Оскільки станом на сьогодні в Україні відсутні сучасні рекомендації з розрахунку пінобетонних плит на продавлювання, для розробки таких рекомендацій було використано наступні два підходи до розрахунку:

- *1 підхід.* Розрахунок з використанням рекомендацій НДІБК до розрахунку бетонних неармованих і армованих горизонтальною арматурою плит на продавлювання, а також перевірка можливості застосування для пінобетонних плит механізму розрахунку бетонних конструкцій згідно зі СНиП 2.03.01-84 та євронорм EN 1992-1-1.

- *2 підхід (запропонована методика).* Розрахунок опертих по контуру армованих металевою арматурою плит, що працюють на згин від продавлюючого зусилля, яке передається штампом, в залежності від величини анкерування цієї горизонтальної арматури у двох взаємоперпендикулярних напрямках.

1 підхід. Застосовані існуючі підходи до розрахунку неармованих та армованих фіброю і неметалевою арматурою пінобетонних плит з неавтоклавного пінобетону, в основному, показали задовільне співпадіння їх несучої здатності з експериментальними значеннями в межах до 15 %, тому для таких пінобетонних плит рекомендовано застосовувати підхід до їх розрахунку на продавлювання як для бетонних неармованих плит, що існував у попередніх будівельних нормах, а саме у СНиП 2.03.01-84*.

Для розрахунку на продавлювання згідно з EN 1992-1-1 було запропоновано враховувати плив величини анкерування горизонтальної арматури коефіцієнтом використання за взаємно перпендикулярними напрямками (для заанкереної $k_{\rho,z} = 1$, незаанкереної $k_{\rho,y} = 0,67$ - знайдені із співвідношення величин деформацій пінобетону в стиснутій зоні у взаємно перпендикулярних напрямках) у формулі коефіцієнта армування:

$$\rho_1 = \sqrt{k_{\rho,z} \rho_{1z} \cdot k_{\rho,y} \rho_{1y}} = \sqrt{0,67 \cdot \rho_{1z} \cdot 1 \cdot \rho_{1y}} \quad (5)$$

Виконані розрахунки армованих горизонтальною металевою арматурою плит на продавлювання згідно з рекомендаціями НДІБК показали, що експериментальні значення несучої здатності плит у 1,11÷1,74 рази більші від розрахункових. Натомість, відповідно до положень EN 1992-1-1 з врахуванням впливу величини анкерування горизонтальної арматури за допомогою коефіцієнтів використання арматури $k_{\rho,z}$ і $k_{\rho,y}$ було встановлено значно завищені значення розрахункової несучої здатності, причому експериментальні дані склали лише 0,19÷0,44 від розрахункових величин для відповідних марок плит.

Тому, для розрахунку плит армованих горизонтальною металевою арматурою запропоновано 2 підхід.

2 підхід. Механізм розрахунку реалізується завдяки наступним рекомендаціям:

1) прийняти кути нахилу бокових поверхонь піраміди продавлювання:

- для перерізів у напрямку заанкереної горизонтальної арматури кут потрібно приймати $\alpha=43^{\circ}$ (для плит марок П-10, П-27, П-29) ;

- у випадку перерізів у напрямку незаанкереної арматури - $\alpha=55^{\circ}$ (для плит марок П-11, П-28, П-30);

2) застосувати перевідний коефіцієнт з теорії пружності β_1 - для пластини зі співвідношенням між сторонами, що відповідає відношенню довжин перпендикулярних нижніх граней піраміди продавлювання за напрямками згину (для досліджуваних плит - $\frac{l_{0\{П-27,П-29\}}}{l_{0\{П-28,П-30\}}} \approx 1,4$ і $\frac{l_{0\{П-11\}}}{l_{0\{П-10\}}} \approx 1,0$). Даний коефіцієнт дозволяє

перейти від величини розрахункового моменту, що сприйме трапецієвидний переріз з відповідними кутами нахилу бокових поверхонь в залежності від величини анкерування горизонтальної арматури до відповідного руйнуючого зусилля.

3) прийняти коефіцієнт включення поздовжньої арматури в роботу k_s у залежності від довжини її анкерування в тілі пінобетону відповідно до рис. 11 та табл. 2.

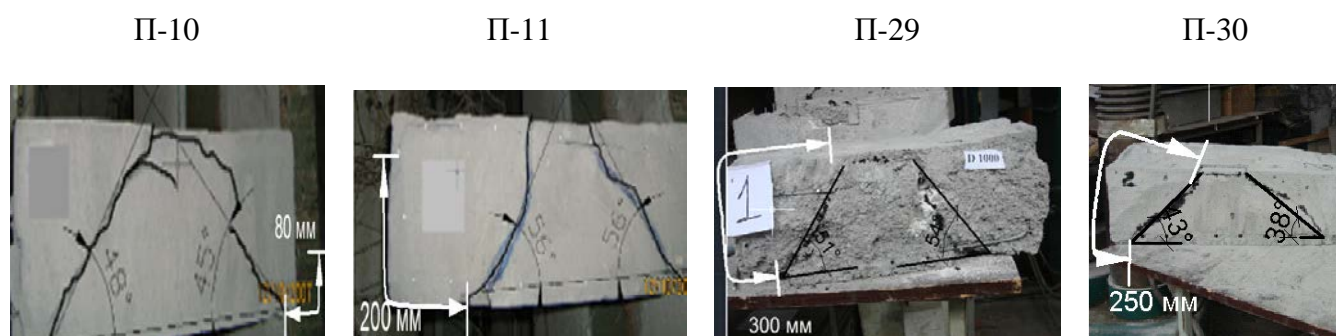


Рис. 11. Анкерування горизонтальної арматури для зразків плит марок П-10, П-11, П-29, П-30

Таблиця 2

Коефіцієнт включення поздовжньої арматури в роботу k_s

№ поз.	Марка плити	Довжина анкерування, мм	Коефіцієнт k_s , %
1	П-10	80	8
2	П-11	200	20
3	П-27	300	30
4	П-28	250	25
5	П-29	300	30
6	П-30	250	25

Алгоритм розрахунку за запропонованою методикою представлено на рис. 12, а результати виконаного розрахунку наведено в табл. 3.

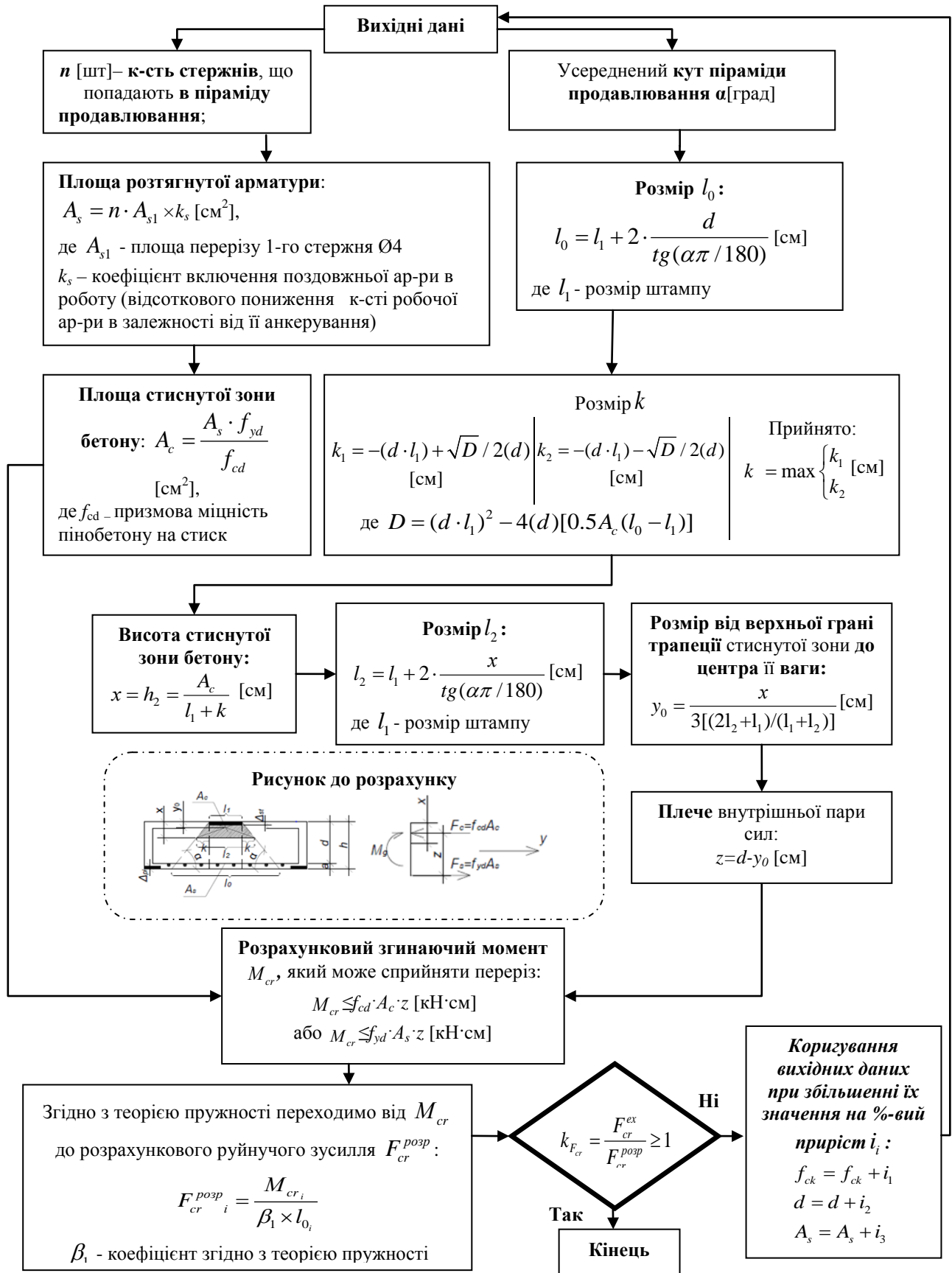


Рис. 12. Блок-схема розрахунку пінобетонних плит, армованих горизонтальною арматурою, на згин при продавлюванні штампом

Розрахунок плит, опертих по контуру за запропонованою методикою

№ поз.	Марка плити	$\gamma(D)$	M_{cr}		$F_{cr}^{розп}$	F_{cr}^{ex}	Порівняння $k_{F_{cr}} = \frac{F_{cr}^{ex}}{F_{cr}^{розп}}$
		$кг/см^3$	$M_{cr} \leq f_{cd} \cdot A_c \cdot z$	$M_{cr} \leq f_{yd} \cdot A_s \cdot z$	$F_{cr}^{розп} = \frac{M_{cr_i}}{\beta_1 \times l_{0i}}$		
			кН·см	кН·см	кН		
1	П-10	755	39,55	39,55	7,01	7,95	1,13
2	П-11	789	70,87	70,87	11,38	13	1,14
3	П-27	774	100,85	100,85	12,56	13	1,04
4	П-28	810	72,35	72,35	16,10	16,5	1,02
5	П-29	826	134,57	134,57	16,75	18	1,07
6	П-30	906	84,19	84,19	18,74	19,5	1,04
7	П-10	755	39,55	39,55	7,01	7,95	1,13
8	П-11	789	70,87	70,87	11,38	13	1,14

Запропонований 2 підхід до розрахунку опертої по контуру пінобетонної плити на дію продавлюючої сили, як згинаного у двох напрямках елемента з врахуванням коефіцієнту включення поздовжньої арматури в роботу k_s дозволив отримати задовільну збіжність з експериментальними значеннями до 14%.

На основі проведених досліджень роботи пінобетонних неармованих та армованих плит на продавлювання жорстким штампом розроблені рекомендації з проектування таких конструкцій, в тому числі армованих горизонтальною металевою арматурою, які знайшли застосування у "Рекомендаціях з використання в дорожньому будівництві пінобетонів" (Р. В.2.7-218-03450778-681:2007) та під час будівництва висотного житлового дому у м. Львові по вул. Щеповій, 5.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Використання неавтоклавного пінобетону у фундаментних плитах, плитах перекриття та основах під дорожнє покриття, на які діють локальні продавлюючі зусилля, враховуючи малу об'ємну вагу та добрі теплоізоляційні властивості, можливе при застосуванні горизонтального металевого армування.

2. Враховуючи велику мінливість властивостей неавтоклавного пінобетону в залежності від його складу та технології виготовлення, були виконані комплексні експериментальні дослідження та отримані математичні залежності для фізико-механічних властивостей матеріалу в залежності від його густини. Розроблена методика визначення міцності пінобетону на розтяг, для якої отримані патенти України № 73083 та № 73084.

3. Дослідження неармованих та армованих фіброю пінобетонних плит на продавлювання показало їх однаковий характер руйнування у вигляді розколювання на окремі частини. Використання для розрахунку пінобетонних плит існуючої раніше методики для бетонних плит, що працюють на продавлювання (відповідно до СНиП 2.03.01-84*), показав задовільне співпадіння розрахункових та експериментальних значень руйнуючої продавлюючої сили в межах до 14 %. Тому, для розрахунку на продавлювання штампом неармованих та

армованих фіброю пінобетонних плит рекомендуємо використовувати методику раніше діючих норм проектування.

4. Плити армовані склосіткою, сіткою «Armtex», металевою сотовою сіткою та кільцем із оцинкованої сталі зруйнувались від продавлювання штампом по чітко вираженій піраміді продавлювання. Оскільки армування цих плит було виконане з дуже деформативних матеріалів, розрахунок цих плит необхідно виконувати за методикою як для неармованих плит. Отримані результати розрахунку несучої здатності були менші від їх експериментальних значень в $1,02 \div 1,18$ разів, що підтвердило можливість використання обраної методики розрахунку.

5. Розроблена методика розрахунку пінобетонних плит армованих горизонтальною металевою арматурою на продавлювання штампом дала задовільне сходження величини розрахункової несучої здатності з експериментальною величиною в межах до 14 %. Вказана методика полягала у розрахунку опертих по контуру плит, що працюють на згин від продавлюючої сили, з врахуванням величини зони анкерування арматури та відповідного рівня використання цієї арматури в розтягнутій зоні у взаємно перпендикулярних напрямках.

6. За результатами проведеного аналізу результатів експериментальних досліджень пінобетонних плит армованих горизонтальними металевими сітками з їх різним анкеруванням по торцях запропонована методика розрахунку, яка може бути використана при проектуванні плитних пінобетонних конструкцій, що працюють на продавлювання штампом.

7. Результати експериментальних досліджень були використані у «Рекомендаціях з використання в дорожньому будівництві пінобетонів» (Р. В.2.7-218-03450778-681:2007) та при проектуванні і будівництві покриття над житловим будинком у м. Львові по вул. Щеповій, 5.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Демчина Х. Б. Вплив армування пінобетонних зразків плит на їх несучу здатність при продавлюванні / П. М. Коваль, Х. Б. Демчина, Г. М. Гладишев // Дороги і мости: зб. наук. пр. – К., 2008. – С. 123-129. *(Особистий внесок: розроблена конструкція дослідних зразків та методика досліджень)*.

2. Демчина Х. Б. Вплив виду армування пінобетонних плит на характер руйнування при продавлюванні / П. М. Коваль, Х. Б. Демчина, Г. М. Гладишев // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. – Рівне, 2008. – С. 176-182. *(Особистий внесок: виконано аналіз впливу виду армування плит на їх несучу здатність та характер руйнування)*.

3. Демчина Х. Б. Результати експериментальних досліджень пінобетонних плит на продавлювання армованих пластиковими сітками / Х. Б. Демчина // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. - № 655. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2009. – С. 76-79.

4. Демчина Х. Б. Дослідження пінобетонних плит, армованих фіброю, на продавлювання / Х. Б. Демчина, О. Я. Литвиняк // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях : материалы десятой юбилейн. междунар. пром.конф., 18-22 февр. 2010 г., п. Славское, Карпаты. – Киев, 2010. – С. 269-272. *(Особистий внесок: розроблена технологія виготовлення пінобетонних плит армованих поліпропіленовою фіброю та виконано аналіз результатів їх дослідження на продавлювання).*

5. Демчина Х. Б. Дослідження фізико-механічних властивостей пінобетону, армованого фіброю / І. Б. Горніковська, Х. Б. Демчина, Я. І. Ковальчик // Вісн. Одес. держ. акад. буд-ва та архіт. – 2010. – Вип. 37. – С. 100-111. *(Особистий внесок: розроблені зразки призм та анкерних захватів для визначення міцності пінобетону на центральний розтяг і отримані та проаналізовані експериментальні результати міцності та деформативності пінобетонів).*

6. Демчина Х. Б. Взаємний зв'язок міцнісних та деформаційних характеристик безавтоклавного пінобетону / В. Б. Верба, І. Б. Горніковська, Х. Б. Демчина, В. В. Волоцюга, О. П. Голик // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – Макіївка, ДонНАБА, 2012. – Том 8, Номер 1. – С. 27-35. *(Особистий внесок: встановлені математичні залежності міцності пінобетону на центральний розтяг для зразків призм і «вісімок»).*

7. Демчина Х. Б. Визначення міцності пінобетону на розтяг при згині / В. В. Волоцюга, І. Б. Горніковська, Х. Б. Демчина // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. – № 742. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2012. – С. 42-45. *(Особистий внесок: проведено експериментальні дослідження міцності пінобетону на розтяг при згині та виведені відповідні математичні залежності).*

8. Демчина Х. Б. Визначення міцності пінобетону на розтяг під час розколювання / Х. Б. Демчина, В. Р. Хміль, П. М. Коваль // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. – № 742. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2012. – С. 65-70. *(Особистий внесок: виконано аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень міцності пінобетону на розтяг при розколюванні).*

9. Демчина Х. Б. Дослідження міцності неавтоклавного пінобетону на розтяг при згині / В. В. Волоцюга, Х. Б. Демчина, І. Б. Горніковська // Серія: Галузеве машинобудування, будівництво: Збірник наукових праць. – Полтава, 2012. Випуск 5 (35). – С. 161-165. *(Особистий внесок: вдосконалено методіку дослідження пінобетону на розтяг при згині із використанням дослідних зразків, які були попередньо випробувані на центральний розтяг).*

10. Демчина Х. Б. Дослідження міцності пінобетону на центральний розтяг / Х. Б. Демчина, П. О. Голик, В. В. Волоцюга // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". – 2012. – № 742. – С. 60-64. *(Особистий внесок: розроблена методика дослідження міцності пінобетону на центральний розтяг на призмах за допомогою спеціальних анкерних захватів).*

11. Демчина Х. Б. Дослідження зминання неавтоклавного пінобетону під штампом в процесі продавлювання плити / Х. Б. Демчина // Науково-технічні

проблеми сучасного залізобетону: міжвід. наук.-техн. зб. – К. : ДП «НДІБК», 2013. – Вип. 78, кн. 2. – С. 290-297.

12. Демчина Х. Б. Дослідження пінобетонних плит, армованих сталевими сітками з різним анкеруванням на продавлювання / Х. Б. Демчина, Т. Ю. Осадчук // XV Міжнародний науково-практичний форум «Теоретичні основи і практичні аспекти використання ресурсоощадних технологій для підвищення ефективності агропромислового виробництва і розвитку сільських територій» (м. Дубляни, 24–26 вересня 2014 р.). – С101-106. *(Особистий внесок: розроблена методика дослідження впливу напрямку анкерування сталевих сіток на геометрію піраміди продавлювання).*

13. Демчина Х. Б. Использование классической теории упругости пластин для расчета плит, работающих на продавливание в контексте обеспечения устойчивого развития в строительстве / Х. Б. Демчина, Т. Ю. Осадчук // Sustainable Development. – Varna, 2014. – № 20. – S.131-136. *(Особистий внесок: запропоновано врахувати підходи теорії пружності пластин для розрахунку пінобетонних армованих горизонтальними сітками плит з врахуванням напрямку анкерування сіток).*

Наукові праці, в яких додатково опубліковані основні наукові результати дисертації:

14. Пат. 73083 Україна, МПК G 01 N 3/00. Анкерний захват для визначення фізико-механічних характеристик бетону / Х. Б. Демчина, М. І. Сурмай; заявник і власник патенту Національний університет «Львівська політехніка». – u201202446; заявл. 01.03.2012 ; опубл. 10.09.2012, Бюл. № 17/2012

15. Пат. 73084 Україна, МПК G 01 N 3/00. Зразок для визначення фізико-механічних характеристик бетону / Х. Б. Демчина, М. І. Сурмай; заявник і власник патенту Національний університет «Львівська політехніка». – u201202447; заявл. 01.03.2012 ; опубл. 10.09.2012, Бюл. № 17/2012.

АНОТАЦІЯ

Демчина Х.Б. Міцність та деформативність пінобетонних плит на продавлювання штампом. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2016.

Дисертація присвячена дослідженню міцності та деформативності неармованих і армованих різними видами горизонтальних сіток пінобетонних плит опертих по контуру на продавлювання квадратним жорстким штампом.

Здійснені комплексні дослідження фізико-механічних характеристик міцності звичайного неавтоклавного конструктивно-теплоізоляційного пінобетону та пінобетону армованого поліпропіленовою фіброю (фібропінобетону), а також отримані математичні залежності цих характеристик в залежності від його густини (марки).

Розроблено методику та проведено експериментальні дослідження пінобетонних плит опертих по контуру на продавлювання штампом з метою встановлення доцільності їх горизонтального армування і вибору його

оптимального виду. Виконано розрахунок з використанням існуючих раніше рекомендацій та діючих євронорм для розрахунку бетонних армованих і неармованих плит на продавливання для перевірки можливості їх застосування для пінобетонних плит.

Запропоновано методику для інженерного розрахунку несучої здатності опертих по контуру плит, що працюють на згин від продавлюючого зусилля. Врахування впливу величини анкерування горизонтальної арматури у двох взаємно перпендикулярних напрямках запропоновано виконувати за допомогою коефіцієнта включення поздовжньої арматури в роботу k_s .

Розроблено рекомендації з розрахунку та проектування пінобетонних неармованих та армованих плит, що працюють на продавливання та виконано впровадження результатів досліджень.

Ключові слова: пінобетонні плити, продавливання, фібропінобетон, заанкерена горизонтальна арматура, неметалева арматура, металева арматура, методика розрахунку.

АННОТАЦИЯ

Демчина Х.Б. Прочность и деформативность пенобетонных плит на продавливание штампом. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения. – Национальный университет «Львовска политехника» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2016.

Диссертация посвящена исследованию прочности и деформативности неармированных и армированных различными видами горизонтальных сеток пенобетонных плит, опирающихся по контуру, на продавливание квадратным жестким штампом.

Осуществлены комплексные исследования физико-механических характеристик прочности обычного неавтоклавного конструктивно-теплоизоляционного пенобетона и пенобетона армированного полипропиленовой фиброй (фибропенобетона), а также получены математические зависимости этих характеристик в зависимости от его плотности (марки). Разработана методика и проведены экспериментальные исследования пенобетонных плит опирающихся по контуру на продавливание штампом с целью установления целесообразности их горизонтального армирования и выбора его оптимального вида.

Проведены экспериментальные и теоретические исследования прочности пенобетонных плит при их работе на продавливание. В частности, выполнен расчет с использованием существующих ранее рекомендаций и действующих євронорм для расчета бетонных армированных и неармированных плит на продавливание с целью проверки возможности их применения для пенобетонных плит. При этом учет влияния величины анкерования горизонтальной арматуры в двух взаимно перпендикулярных направлениях предложено выполнять коэффициентом использования арматуры вдоль соответствующих направлений - $k_{\rho,z}$ и $k_{\rho,y}$, которые для исследуемых плит составили соответственно - $k_{\rho,z} = 0,67$ и $k_{\rho,y} = 1$.

Предложена методика для инженерного расчета несущей способности опирающихся по контуру плит, работающих на изгиб от усилия продавливания. Для этого было использовано расчетное поперечное сечение в виде трапеции, которая попадала в пирамиду продавливания плиты с различными углами наклона боковых граней к горизонту в зависимости от направления размещения заанкеренной и незаанкеренной арматуры. Углы наклона были приняты за результатами экспериментальных исследований. Чтобы перейти от величины расчетного момента, который воспринимается трапециевидным сечением к соответствующему разрушающему усилию использовался коэффициент β_1 . Учет влияния величины анкеренки горизонтальной арматуры в двух взаимно перпендикулярных направлениях предложено выполнять с помощью коэффициента включения продольной арматуры в работу k_s . Дальнейший расчет выполнялся как для обычного железобетонного элемента.

Разработаны рекомендации по расчету и проектированию пенобетонных неармированных и армированных плит, работающих на продавливание и выполнено внедрение результатов исследований.

Ключевые слова: пенобетонные плиты, продавливание, фибропенобетон, заанкеренная горизонтальная арматура, неметаллическая арматура, металлическая арматура, методика расчета.

ABSTRACT

Demchyna H. B. Strength and deformability of foam concrete slabs under punching shear loading. – On the rights of manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.23.01 – Building constructions, buildings and structures. – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2016.

This research focuses on punching shear strength and deformation capacity of non-reinforced, fiber-reinforced, non-metallic and metallic reinforced with different anchoring in mutually perpendicular directions foamed concrete slabs. Local crumpling and punching shear of the road base material, foundation slabs and floors in the junctions with walls, columns or equipment, in case of foam concrete, are insufficiently studied and actual for researches. There have been determined comprehensive studies of physical and mechanical strength characteristics of non-autoclaved non-reinforced and fiber-reinforced foamed concrete. It has been calculated using the pre-existing and current recommendations for calculating reinforced and non-reinforced concrete slabs under punching shear loading to test their possible application for foam plates. Experimental and numerical study On the basis of analyzed theoretical and experimental data an author proposed the engineering method for calculating of punching shear strength. Recommendations for the design and manufacture of reinforced foamed concrete slabs were proposed.

Keywords: foamed concrete slabs, punching shear loading, fiber reinforced foamed concrete, longitudinal reinforcement with anchoring, non-metallic reinforcement, metallic reinforcement, method of calculation.