

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет

БІКС ЮРІЙ СЕМЕНОВИЧ

УДК 666.97.03

**ПРОГНОЗУВАННЯ МІЦНОСТІ ТА РОЗПОДІЛУ БОКОВОГО
ТИСКУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ПРЕСОВАНИХ БЕТОННИХ
ДОРОЖНІХ КАМЕНІВ**

05.23.05 – Будівельні матеріали та вироби

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
ДУДАР Ігор Никифорович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри містобудування та архітектури.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ДВОРКІН Олег Леонідович,
Національний університет водного господарства та
природокористування (м. Рівне),
професор кафедри технології будівельних виробів і
матеріалознавства;

кандидат технічних наук, доцент
КРОВЯКОВ Сергій Олексійович,
Одеська державна академія будівництва та архітектури,
доцент кафедри міського будівництва та господарства.

Захист відбудеться 21 лютого 2013 року об 11⁰⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради
К 05.052.04 Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м.
Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд .210.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного технічного
університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий 18 січня 2013 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В. В. Швець

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Об'єм та якість виробництва бетону достатньо повно характеризує індустріальний рівень розвитку суспільства. Поширюється масове застосування дрібнорозмірних бетонних елементів з важких бетонів на щільних заповнювачах (гранітний щебінь, гравій, річковий та гірський піски) з вираженою тенденцією до збільшення міцності. В умовах ринкової економіки існує потреба гнучкого реагування на вимоги споживача в бетонах із заданими властивостями, необхідну рецептуру яких важко отримати прискореним шляхом у лабораторії. Тому впровадження експрес-методів прогнозування характеристик бетонних виробів з урахуванням технологічних параметрів ущільнення суміші набувають особливої актуальності. Одним із основних напрямків вирішення поставлених задач є застосування комп'ютеризованих систем підтримки прийняття рішень, що базуються на експериментально-статистичних та теоретичних залежностях взаємозв'язку основних вхідних факторів впливу на шукану кінцеву цільову функцію. Ці системи дозволяють враховувати нечіткий характер значень фізико-механічних характеристик заповнювачів суміші та встановлювати зв'язки між ними і прогнозованою міцністю бетонного виробу. Серед сучасних підходів для вирішення багатокритеріальних задач проектування складів бетону варто відмітити використання математичних методів аналізу, апарату нечіткої логіки та генетичних алгоритмів. Тому розроблення методів прогнозування міцності та розподілу бокового тиску при виробництві пресованих бетонних дорожніх каменів є актуальною задачею, що зумовило вибір теми дисертаційного дослідження, його мету та завдання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до пріоритетного напрямку №6 “Новітні технології й ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі”, визначеному в Законі України від 11 липня 2001 року № 2623-III “Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки”.

Мета досліджень: розробка методу прогнозування міцності та розподілу бокового тиску при виробництві пресованих бетонних виробів за допомогою математичних моделей.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- за результатами аналізу стану досліджень з розроблення й впровадження методів проектування пресованих бетонних виробів ієрархічно класифікувати та формалізувати фактори впливу на прогнозовану міцність та розподіл бокового тиску при ущільненні бетонної суміші;

- теоретично дослідити та врахувати виявлені фізико-механічні закономірності механізму ущільнення пресуванням суміші при проектуванні складів бетону та технології виробництва бетонних дорожніх каменів;

- розробити експериментальну установку й методику та виконати дослідження закономірностей розподілу тиску по висоті виробу під час ущільнення різних проектних складів бетонних сумішей та сформулювати аналітичні залежності розподілу бокового тиску по висоті бетонних сумішей, опору пресуючому тиску в залежності від водоцементного відношення (В/Ц), вмісту пластифікуючих добавок та тривалості попереднього вібрування при виробництві пресованих дорожніх каменів;

- створити експертно-моделювальну систему інтелектуальної підтримки проектування пресованих бетонних виробів з прогнозованими властивостями з використанням теорії нечіткої логіки й лінгвістичних змінних та оцінити адекватність розроблених моделей прогнозування міцності та розподілу бокового тиску при ущільненні бетонної суміші;

- провести дослідно-промислове впровадження експертно-моделювальної системи інтелектуальної підтримки проектування пресованих бетонних виробів з прогнозованою міцністю та розподілом бокового тиску при ущільненні суміші та визначити її економічну ефективність.

Об'єкт дослідження. Процес прогнозування міцності бетону та розподілу бокового тиску при виготовленні пресованих бетонних дорожніх каменів.

Предмет дослідження. Закономірності впливу складу бетонної суміші на прогнозовані міцність та характер розподілу бокового тиску по висоті виробу при виробництві пресованих дорожніх каменів.

Методи досліджень. Прогнозування міцності бетонних виробів та розподілу бокового тиску базується на математичному апараті теорії нечіткої логіки. Дослідження динаміки розподілу бокового тиску при ущільненні бетонних сумішей в установці, розробленій автором, виконано з використанням атестованих засобів вимірювальної техніки. При встановленні багатofакторних залежностей для характеру розподілу бокового тиску застосовано методи математичного планування експерименту. Визначення фізико-механічних властивостей заповнювачів бетонної суміші (модуль крупності піску, активність цементу, водопоглинання крупного заповнювача, насипна густина мілкою та крупною заповнювачів) здійснювалось за допомогою стандартних методів досліджень. Для обробки експериментальних даних та виведення рівнянь регресії застосовано сучасне програмне забезпечення. Реалізація інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень виконана в комплексі "MATLAB".

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

- вперше отримано кореляційний зв'язок між В/Ц, тривалістю попереднього вібрування, величиною пресуючого тиску та боковим тиском для різних складів бетонної суміші, що виражений комплексом експериментально-статистичних залежностей характеру розподілу бокового тиску по висоті прес-форми при ущільненні бетонної суміші, виявлено зниження бокового тиску на стінку прес-форми та збільшення опору пресуючому тиску при зменшенні В/Ц;

- дістало подальшого розвитку теоретичні залежності зміни об'єму затисненого в бетонну суміш повітря по глибині прес-форми від густини бетонної суміші та тиску пресування;

- розроблено концептуальний підхід щодо побудови експертної системи у формі ієрархії для прогнозування міцності та розподілу бокового тиску з використанням нечіткої логіки та лінгвістичних змінних.

Практичне значення одержаних результатів:

- створено модуль інтелектуальної підтримки прийняття рішень при прогнозуванні міцності бетону у віці до 28 діб який впроваджено в якості дублюючої системи при проектуванні складу бетонних сумішей в будівельній лабораторії ВАТ "Поділля-залізобетон", м. Вінниця;

- розроблені рекомендації врахування виявленого характеру розподілу бокового тиску для різних складів бетонної суміші при конструюванні інвентарної опалубки для виготовлення бетонних дорожніх каменів;

- розроблений модуль інтелектуальної підтримки прийняття рішень щодо прогнозування міцності бетону забезпечує скорочення тривалості випробовування бетонного зразку на 25 годин для сумішей на портландцементі та 27 годин для сумішей на шлакопортландцементі і пуцолановому цементі.

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та експериментальні результати досліджень автор отримав особисто. Безпосередня участь здобувача в роботах, що опубліковані у співавторстві полягає в тому, що запропоновано: установку та проведено аналіз її конструктивних параметрів для дослідження розподілу бокового тиску [3,14], зв'язок величини об'єму бульбашки затиснутого повітря від густини бетонної суміші та прикладеного тиску [4], математичну модель впливу форми перерізу на значення коефіцієнту тертя по боковій поверхні суміші [5], допустимі параметри заповнювачів для визначення бокового тиску в бетонних сумішах [13], допустиму рухливість сумішей для визначення величини розподілу бокового тиску при пресуванні [15].

Апробація результатів досліджень. Основні положення роботи доповідались та обговорювались на: X Міжнародній конференції "Контроль і управління в складних системах КУСС-2010" (м. Вінниця, 2010 р.); Міжнародній науково-технічній конференції "Інноваційні технології в будівництві" (м. Вінниця, 2010, 2012 рр.); IV Міжнародній конференції молодих

вчених “Геодезія, архітектура та будівництво” ГАС-2011” (м. Львів, 2011 р.); Всеукраїнській науково-технічній конференції “Енергоефективність в галузях економіки України” (м. Вінниця, 2011 р.); науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ (м. Вінниця, 2009-2012 рр.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 15 робіт, в тому числі 11 у наукових фахових виданнях України, 3 патенти на корисну модель, 1 теза в матеріалах міжнародної наукової конференції.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації 148 сторінок, в тому числі 123 сторінки основного тексту, 30 таблиць, 48 рисунків, список використаних джерел із 139 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні завдання досліджень, методи їх розв’язання, викладено наукову новизну та практичну цінність роботи, наведено об’єкт й предмет дослідження, особистий внесок здобувача та відомості щодо апробації дисертації.

Перший розділ присвячено огляду наукових робіт учених вітчизняних та зарубіжних шкіл з досліджень прогнозування міцності та розподілу бокового тиску при виготовленні бетонних виробів.

Проведений аналіз робіт вітчизняних та закордонних вчених по проблематиці прогнозування міцності бетону із заданими властивостями (Вознесенський В. А., Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Вировий В. М., Файнер М. Ш., Баженов Ю. М., Лихачов Д. В., Yeh I-C., Wang J. Z., Dewar J. D., Newille A. M.) та розподілу тиску при пресуванні (Ахвердов Й. М., Блещик М. П., Дудар І. Н., Жданович Г. М., Світонський О. В., Assaad J., Arslan M. та інші) дозволив узагальнити та систематизувати інформацію про виробництво пресованих бетонних виробів, а також методи прогнозування міцності бетону із заданими властивостями та розподілу бокового тиску при ущільненні суміші пресуванням.

Закономірності розподілу тиску по висоті ущільнюваної суміші бетонного виробу вивчені недостатньо. Відомі математичні залежності отримані Ахвердовим Й. М., Світонським О. В. та Дударем І. Н. для визначення величини бокового тиску не враховують вплив часу попереднього вібрування та вмісту пластифікуючої добавки, а тому для прогнозування розподілу бокового тиску потребують експериментального уточнення.

Наведено переваги та недоліки експертних систем вибору складу бетонних сумішей, технологічних рішень при виробництві будівельних бетонних виробів. Виробничий склад бетонної суміші має нечіткий характер, кількісні характеристики його заповнювачів знаходяться в певних діапазонах похибок складових величин. Тобто проектування складу бетону ведеться в умовах нечітких вхідних даних про більшість параметрів заповнювачів суміші та невизначеності результату міцності бетону на стиск.

На основі проведеного аналізу попередніх досліджень сформульовано робочу гіпотезу, яка полягає в припущенні, що проектування бетонного виробу з прогнозованою міцністю та розподілом бокового тиску при ущільненні суміші пресуванням відноситься до слабоформалізованих задач, які можна вирішити засобами теорії нечіткої логіки, та існуючі залежності розподілу тиску по висоті суміші не в повній мірі відображають дійсну динаміку його зміни. Весь комплекс зазначених проблем визначив зміст даної дисертаційної роботи.

У другому розділі наведено характеристики використаних сировинних матеріалів бетонних сумішей, їх основні властивості, описано методи та методики досліджень, прилади та обладнання для проведення експериментальних випробувань. При виготовленні пресованих бетонних виробів наведено методологічні підходи щодо врахування невиданого повітря, тертя суміші по боковій поверхні прес-форми різного перерізу. При дослідженні фізико-механічних процесів, що виникають при пресуванні бетонної суміші,

використано портландцемент ПЦ II/A-III-400 (ПАТ “ХайдельбергЦемент Україна”, м. Кривий Ріг). Основним заповнювачем бетонних сумішей для виготовлення важкого бетону використано гранітний щебінь фракції 5-20мм, що відповідає вимогам між-державного стандарту ГОСТ 8267-93. В якості мілкого заповнювача використано митий річковий пісок. Як пластифікуючі добавки використано суперпластифікатори Релаксол СУПЕР ПК (ТУ 64-16-265-80 ДП “Р” ТОВ “Будіндустрія ЛТД”, м. Запоріжжя) та “Поліпласт СП-3” (ТУ 5870-006-58042865-05, “ООО Полипласт Новомосковск”, Росія).

Для виявлення фізико-механічних закономірностей процесу, що відбувається при ущільненні бетонної суміші в прес-формі, теоретично визначено співвідношення між об’ємом бульбашки затисненого повітря на поверхні та на глибині прес-форми h з врахуванням тиску привантаження та густини суміші

$$n^3 = \frac{\rho gh}{P_{стат} + P_{атм}} + 1, \quad (1)$$

де n^3 – коефіцієнт, що характеризує співвідношення об’ємів бульбашки повітря на поверхні суміші до об’ємів бульбашки на глибині ; $P_{стат}$ – тиск від статичного привантаження на суміш; $P_{атм}$ – атмосферний тиск, ρ – густина бетонної суміші, g – прискорення вільного падіння.

Характер зміни об’єму затисненого повітря в ущільнюваній суміші по висоті прес-форми досліджено за результатами чисельного моделювання за установленою закономірністю (1) (рис.1). Вихідними умовами є густина бетонної суміші 2250-2500 кг/м³, висота прошарку 0,01-0,6 м бетонної суміші, що ущільнюється.

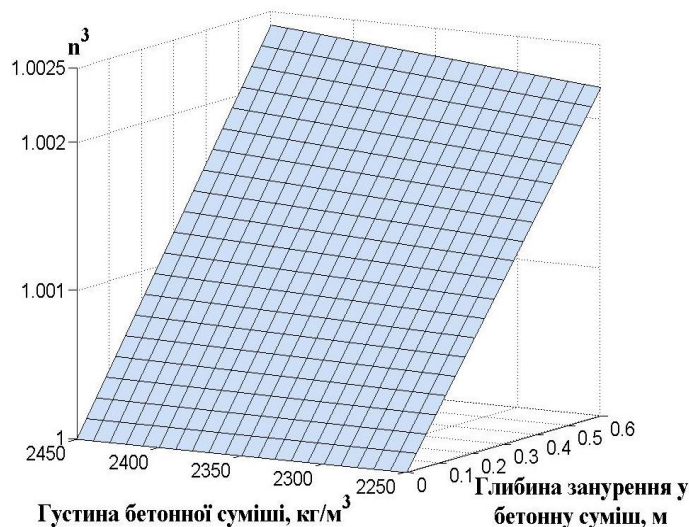


Рисунок 1 – Залежність величини співвідношення об’єму бульбашки на поверхні до об’єму бульбашки на глибині h при тиску привантаження 5МПа

Аналіз результатів моделювання свідчить, що зі збільшенням густини бетонної суміші ρ зменшується об’єм бульбашки повітря $V_{глиб}$ на глибині h . Величини коливання зменшення об’єму бульбашки на глибині 0,6 м несуттєві, а саме: для тиску 5 МПа становлять 0,26...0,29% від початкового об’єму бульбашки на поверхні, для тиску 10 МПа становлять 0,13...0,14%, для тиску 15 МПа 0,08...0,09% відповідно від початкового об’єму бульбашки на поверхні. При чому площа залежності співвідношення об’єму бульбашки повітря на поверхні до об’єму на глибині суміші при тиску 5 МПа крутіша на 49,5% від площини при тиску 10 МПа та на 66,2% від площини при тиску 15 МПа відповідно.

Силу тертя суміші об стінки форми при виробництві бетонних виробів пресуванням можна представити таким чином

$$F_{\partial \delta} = 4al\mu \int_0^l p_{\hat{a}\hat{e}}(h)dh, \quad (2)$$

де μ – коефіцієнт тертя між матеріалом і стінкою прес-форми; вираз $4al$ – площа розгортки бокової поверхні прес-форми; $p_{\text{бок}}(h)$ – функція розподілу тиску на стінку по глибині прес-форми; h – проміжне миттєве значення глибини прес-форми; a – сторона квадратної прес-форми; l – довжина прес-форми.

Якщо прийняти у першому наближенні випадок лінійного розподілу тиску по висоті прес-форми $p_{\text{бок}}(h) = p_{mn}^e - Kh$, де K – питома втрата бокового тиску по глибині прес-форми h , $p_{\hat{a}\hat{e}}^{\hat{a}}$, $\delta_{\hat{e}\hat{e}}^{\hat{e}}$ – тиск на торцях пресуючих пуансонів, відповідно верхнього і нижнього, то вираз (2) набуде вигляду

$$F_{\partial \delta} = 4al\mu \frac{(p_{\hat{a}\hat{e}}^{\hat{a}} + \delta_{\hat{e}\hat{e}}^{\hat{e}})}{2} = 2al\mu(p_{\hat{a}\hat{e}}^{\hat{a}} + \delta_{\hat{e}\hat{e}}^{\hat{e}}). \quad (3)$$

Після перетворення формул (2) та (3) та враховуючи, що $p_{\hat{a}\hat{e}}^{\hat{a}} = \xi \delta_{\hat{e}\hat{e}}^{\hat{a}}$ і $p_{\hat{a}\hat{e}}^{\hat{e}} = \xi \delta_{\hat{e}\hat{e}}^{\hat{e}}$, де ξ – коефіцієнт бокового тиску, $p_{\hat{a}\hat{e}}^{\hat{a}}$, $p_{\hat{a}\hat{e}}^{\hat{e}}$ – тиск на торцях пуансонів (відповідно верхнього та нижнього), отримано вирази для визначення коефіцієнта тертя між матеріалом та стінкою прес-форми при виготовленні пресованих бетонних виробів:

$$\begin{aligned} \text{äëÿ êââäðàòì î ç ô î ð ì è } \mu &= \frac{a}{2l\xi} \frac{(\delta_{\hat{a}\hat{e}}^{\hat{a}} - \delta_{\hat{a}\hat{e}}^{\hat{e}})}{(\delta_{\hat{a}\hat{e}}^{\hat{a}} + \delta_{\hat{a}\hat{e}}^{\hat{e}})}, \\ \text{äëÿ ï ðÿì î êóðì î ç ô î ð ì è } \mu &= \frac{ab}{(a+b)l\xi} \frac{(\delta_{\hat{a}\hat{e}}^{\hat{a}} - \delta_{\hat{a}\hat{e}}^{\hat{e}})}{(\delta_{\hat{a}\hat{e}}^{\hat{a}} + \delta_{\hat{a}\hat{e}}^{\hat{e}})}, \\ \text{äëÿ öèëÿí äðè ÷ í î ç ô î ð ì è } \mu &= \frac{d}{2l\xi} \frac{(\delta_{\hat{a}\hat{e}}^{\hat{a}} - \delta_{\hat{a}\hat{e}}^{\hat{e}})}{(\delta_{\hat{a}\hat{e}}^{\hat{a}} + \delta_{\hat{a}\hat{e}}^{\hat{e}})}, \end{aligned} \quad (4)$$

де a , b , d – відповідно довжина сторони квадрата й прямокутника та діаметр кола.

Аналіз залежностей (4) свідчить, що геометрична форма поперечного перерізу прес-форми мало впливає на величину коефіцієнта тертя μ , проте його значення обернено пропорційне співвідношенню глибини форми до площі поперечного перерізу. Спостерігається зменшення значення коефіцієнту тертя μ по висоті – 2,14 на глибині 0,05 м та 0,18 на глибині 0,6 м для квадратного перерізу прес-форми.

Розроблено експериментальну установку та методику для вимірювання бокового тиску в масиві бетонної суміші, що ущільнюється пресуванням (рис. 2).

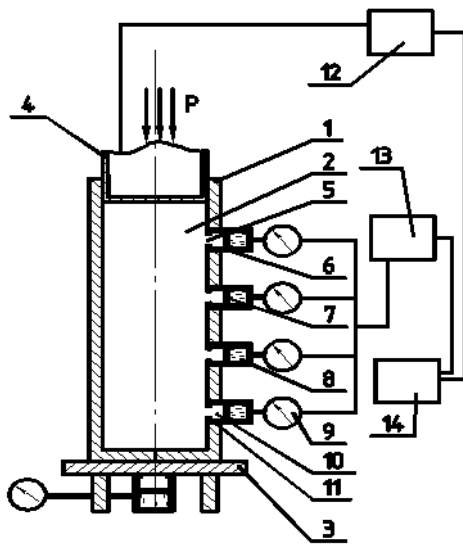


Рисунок 2 –
Схема
установки для
вимірювання
тиску в масиві
бетонної
суміші, що
ущільнюється
(зліва), та її
фактична

Примітка: 1 – корпус, 2 – бетонна суміш, що ущільнюється, 3 – станина, 4 – пуансон прикладання навантаження, 5 – отвір, 6 – робочий гідроциліндр, 7 – мембрана, 8 – піддіафрагменна порожнина, 9 – сенсор бокового тиску (СБ1...СБ4), 10 – наддіафрагменна порожнина, 11 – обмежувальне кільце руху, 12 – блок реєстрації навантажень, 13 – блок реєстрації бокового тиску, 14 – блок автоматизованої обробки даних

Розроблена експериментальна установка для дослідного визначення розподілу тиску в масиві бетонної суміші дозволить більш точно апроксимувати наведені теоретичні залежності коефіцієнтів бокового тиску ζ та тертя по боковій стінці μ прес-форми.

Запропонований підхід викладений в розділі дозволить виявити фізико-механічні параметри бетонної суміші при пресуванні бетонних виробів для різних проектних складів з урахуванням впливу попереднього вібрування, пластифікаторів та варійованого значення водоцементного відношення.

У третьому розділі відображена експертно-моделювальна система, яка представлена узагальненою та адаптованою моделями для вибору технологічних рішень при виробництві бетонних будівельних виробів із прогнозованою міцністю у віці до 28 діб на базі апарату нечіткої логіки та лінгвістичних змінних, що дає змогу врахувати чіткі та нечіткі параметри заповнювачів та оцінити їх вплив на цільову функцію. Для встановлення ієрархічних зв'язків факторів, що впливають на прийняття рішення щодо проектування бетонного виробу із прогнозованою міцністю, виконано їх класифікацію за кількісними та якісними показниками: фізико – механічними та технологічними. До технологічних факторів узагальненої моделі відносяться: вплив тиску, температури тужавлення, вологості, параметр інтенсивності віброущільнення. До фізико-механічних факторів можна віднести: В/Ц, добавки пластифікаторів, якість води, марка цементу, а також тип, якість поверхні та форми крупного заповнювача, модуль крупності піску. Фактори впливу розглядаються як лінгвістичні змінні, що задані на відповідних універсальних множинах і оцінюються нечіткими термами.

Ієрархічна класифікація параметрів адаптованої моделі виконана у вигляді дерева логічного висновку, яке визначає систему вкладених одне в одне висловлювань-знань меншої розмірності. Проектна прогнозована міцність бетонного виробу(рис.3) є функцією виду $Y = f(x_9, x_{10}, y_1, y_2)$, в якій зв'язок входів (x_i, y_i) з виходом (Y) замінюється послідовністю співвідношень:

$$Y = f_{(Y)}(x_9, x_{10}, y_1, y_2), \quad (5)$$

$$y_1 = f_{(y_1)}(x_1, x_2, x_3), \quad (6)$$

$$y_2 = f_{(y_2)}(x_4, x_5, x_6, x_7, x_8), \quad (7)$$

де y_1 , y_2 - укрупнені значення лінгвістичних змінних, що характеризують параметри впливу на прогнозовану проектну міцність бетонного виробу, а саме y_1 - пластичності, y_2 - витрати компонентів та фактори впливу: x_1 – В/Ц суміші, x_2 – витрата золи-виносу; x_3 – витрата суперпластифікатора; x_4 – витрата цементу; x_5 – витрата доменного шлаку; x_6 – витрата води; x_7 – витрата щебеню; x_8 – витрата піску; x_9 – вік бетону; x_{10} – коефіцієнт ущільнення.

Адаптована математична модель проектування бетонного виробу з прогнозованою міцністю з врахуванням експериментальних даних за результатами випробування міцності бетонних зразків на стиск у віці 28 діб представлена деревом логічного висновку (рис. 3).

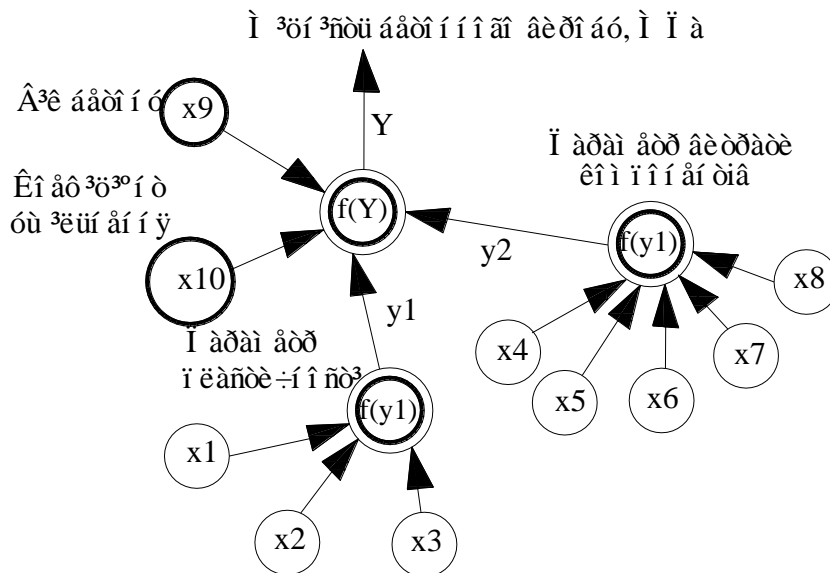


Рисунок 3 – Ієрархічне дерево логічного висновку адаптованої моделі проектування бетонного виробу з прогнозованою міцністю

Базуючись на принципах побудови експертно-моделювальної системи в нечітких діагностичних системах для проектування бетонного виробу з прогнозованою міцністю шляхом логічного висновку по нечіткій базі знань, для кожної лінгвістичної змінної y_1 , y_2 , Y було створено нечітку базу знань типу “Якщо-То”. Використання нечітких термів дозволяє побудувати експертні нечіткі бази знань, які віддзеркалюють зв’язки між вхідними та вихідними лінгвістичними змінними (рівняння 5-7). Вихідні дані для баз знань отримано за даними експертів у галузі бетонознавства. Адаптування моделі виконано з урахуванням експериментальних даних випробування стандартних зразків бетону на стиск.

Змістовну інтерпретацію параметрів пластичності, витрати компонентів, ущільнення та віку бетону, що впливають на величину прогнозованої міцності виробу на стиск, та відповідні універсальні множини й лінгвістичні оцінки (терми) та назви лінгвістичних змінних, наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Фактори впливу як лінгвістичні змінні

Параметри	Позначення та назва лінгвістичної змінної	Універсальна множина	Терми для оцінки
Пластичності	x_1 – В/Ц суміші	0,2...0,5	низьке, середнє, високе
	x_2 – витрата золи-виносу, кг	10...200	низька, середня, висока
	x_3 – витрата суперпластифікатора, % від маси цементу	1...3,75	низька, середня, висока
Витрати	x_4 – витрата цементу, кг	100...450	низька, середня, висока

	x_5 – витрата доменного шлаку, кг	10...360	низька, середня, висока
	x_6 – витрата води, кг	120...250	низька, середня, висока
	x_7 – витрата щебеню, кг	800...1150	низька, середня, висока
	x_8 – витрата піску, кг	590...1000	низька, середня, висока
	x_9 – вік бетону, діб	3...28	низький, середній, високий
	x_{10} – коефіцієнт ущільнення	0,2...1	низьке, середнього, середнє, вище середнього, високе

Як приклад наведено систему нечітких логічних рівнянь (8-10), які характеризують поверхню належності для “параметр пластичності” y_1 та дозволяють оцінити вплив пластичності в адаптованій моделі прогнозування міцності бетонного виробу:

$$\mu_{\bar{f}}(y_1) = \mu_{\bar{f}}(x_1) \wedge \mu_{\bar{f}}(x_2) \wedge \mu_{\bar{f}}(x_3) \vee \mu_{\bar{f}}(x_1) \wedge \mu_{\bar{N}}(x_2) \wedge \mu_{\bar{f}}(x_3) \vee \mu_{\bar{N}}(x_1) \wedge \mu_{\bar{f}}(x_2) \wedge \mu_{\bar{f}}(x_3); \quad (8)$$

$$\mu_{\bar{N}}(y_1) = \mu_{\bar{N}}(x_1) \wedge \mu_{\bar{N}}(x_2) \wedge \mu_{\bar{f}}(x_3) \vee \mu_{\bar{A}}(x_1) \wedge \mu_{\bar{N}}(x_2) \wedge \mu_{\bar{f}}(x_3) \vee \mu_{\bar{N}}(x_1) \wedge \mu_{\bar{A}}(x_2) \wedge \mu_{\bar{f}}(x_3); \quad (9)$$

$$\mu_{\bar{A}}(y_1) = \mu_{\bar{f}}(x_1) \wedge \mu_{\bar{f}}(x_2) \wedge \mu_{\bar{A}}(x_3) \vee \mu_{\bar{N}}(x_1) \wedge \mu_{\bar{f}}(x_2) \wedge \mu_{\bar{N}}(x_3) \vee \mu_{\bar{f}}(x_1) \wedge \mu_{\bar{A}}(x_2) \wedge \mu_{\bar{A}}(x_3) \vee \mu_{\bar{f}}(x_1) \wedge \mu_{\bar{A}}(x_2) \wedge \mu_{\bar{N}}(x_3); \quad (10)$$

де $\mu_H(y_1)$, $\mu_C(y_1)$, $\mu_B(y_1)$ – ступінь належності лінгвістичної змінної y_1 універсальної множини Y (міцність бетонного виробу) до нечіткої множини H (низька), C (Середня), B (Висока) відповідно; \wedge , \vee – оператори логічного “та”, “або”.

За запропонованим методом прогнозування міцності бетонного виробу, використовуючи авторську програму в комплексі “MATLAB”, за відповідною принциповою схемою алгоритму створено інтерфейс користувача експертно-моделювальної системи інтелектуальної підтримки для вибору технологічних рішень для узагальненої моделі (рис. 4).

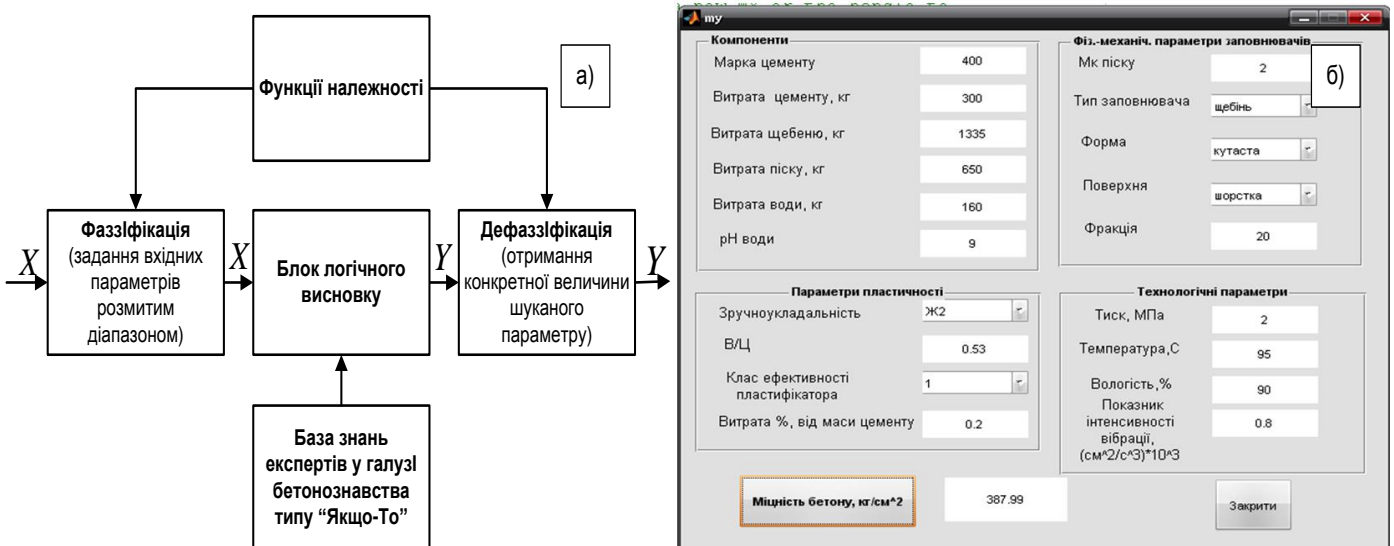


Рисунок 4 – Принципова схема алгоритму нечіткого висновку для задачі прогнозування міцності бетонного виробу (а) та інтерфейс розробленої програми прогнозування міцності бетонного виробу (б)

Запропонований метод дозволить суттєво скоротити час на підготовку до виробництва складу бетону з прогнозованою міцністю, матеріальні витрати, кошти на оплату праці фахівців високої кваліфікації при частій зміні сировини та вимог замовника, що пред'являються до якості бетонних виробів.

Навчання експертно-моделювальної системи (адаптована модель) виконувалось з урахуванням експериментальних даних (Yeh I. C. та інших) (рис. 5). Причому, навчальна вибірка математичної моделі складалась із 264 результатів випробувань міцності бетону на стиск при заданих компонентах бетонної суміші у віці до 28 діб. Тестова вибірка математичної моделі складалась із 159 даних.

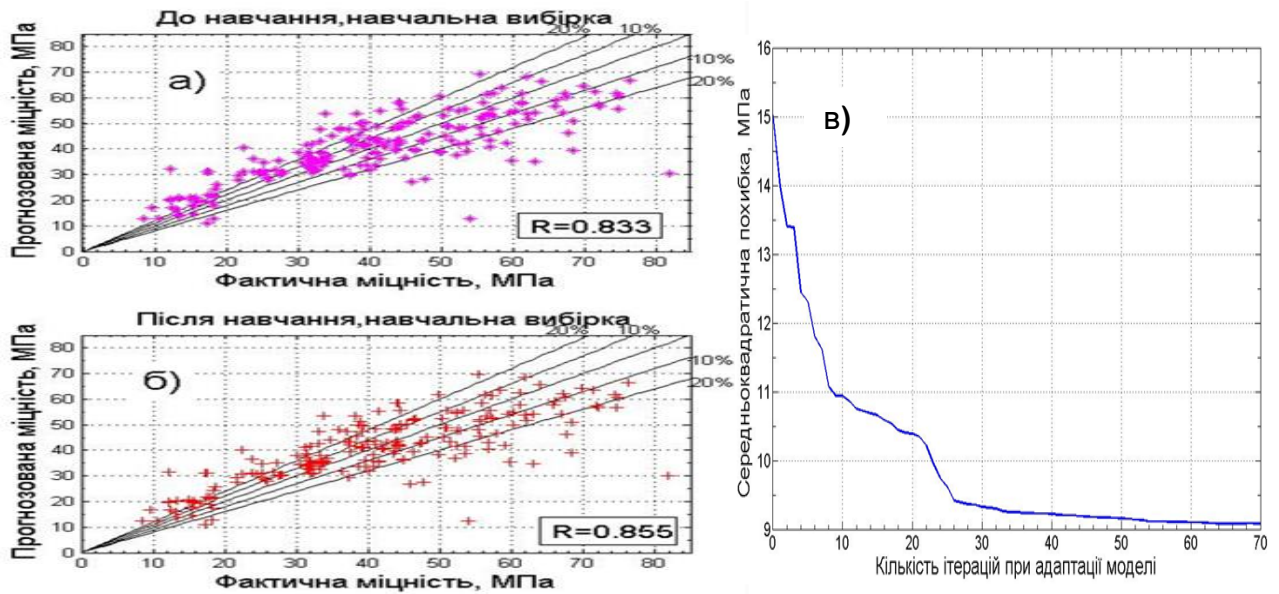


Рисунок 5 – Кореляційний зв'язок між прогнозованою та фактичною міцністю бетону після адаптації моделі в навчальній (а, б), та зміна величини середньоквадратичної похибки при адаптації моделі (в)

Збільшення коефіцієнту кореляції R між прогнозованою та фактичною величиною міцності бетону після адаптації моделі з 0,833 до 0,855 (рис.5 а, б), і як наслідок, зменшення величини середньоквадратичної похибки з 15,02 МПа до 9,08 МПа (рис. 5 в) свідчить про те, що розроблену модель можна адаптувати до цільової функції – міцності бетонного виробу(рис.3).

Для перевірки адекватності запропонованої математичної моделі проектування бетонних виробів із заданою міцністю використано метод парних порівнянь Сааті. З цією метою була побудована трьохрівнева ієрархічна модель, що відображає кількісний вплив головних чинників (формули 5-7) на прогнозовану міцність бетонного виробу, при порівнянні альтернатив з трьох складів бетону А, В та С (рис.6) в яких витрати компонентів ($\text{кг}/\text{м}^3$) варіювалися у діапазоні: цементу 173,5...387; доменного шлаку 20,0...98,1; золи –виносу 24,5...173,5; води 157,0...181,7; суперпластифікатору 3,23...3,75% від маси цементу; щебеню 938...1065,8; піску 845,0...793,5. Коефіцієнт ущільнення варіювався в діапазоні 0,7...0,9. Вік бетону – 28 діб, міцність на стиск 38,3...50,24 МПа.

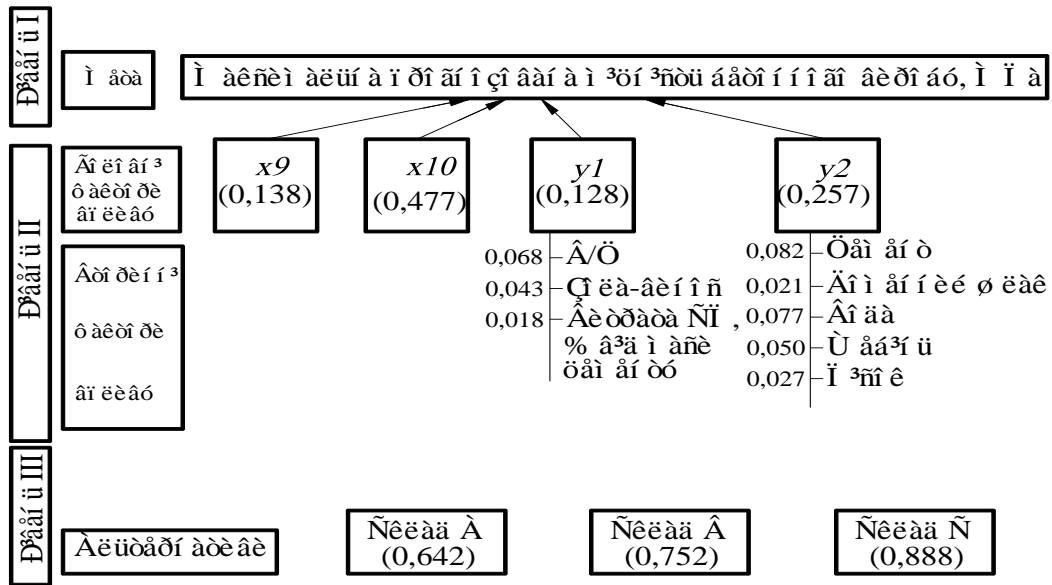


Рисунок 6 – Ієрархічна модель для вибору складу бетонної суміші серед трьох альтернатив при проектуванні бетонного виробу із заданою міцністю

В результаті чисельного експерименту, використовуючи метод парних порівнянь Сааті, отримано інтегральні критерії міцнісної переваги (рис. 6), а саме 0,642 для складу бетонної суміші А, 0,752 для складу В та 0,888 для складу С відповідно. Отримані результати (рис. 6) є кількісним відображенням запропонованого критерію міцнісної переваги для одного складу бетону відносно другого та дозволяють оцінити питому вагу впливу кожного складового фактору моделі на кінцеву проектну міцність бетонного виробу. Це є підтвердженням адекватності моделі прогнозування міцності виробу з використанням теорії нечіткої логіки та лінгвістичних змінних та достовірності й доцільності запропонованої експертно-моделювальної системи.

Четвертий розділ віддзеркалює результати експериментальних досліджень ущільнення бетонної суміші при виготовленні пресованих бетонних виробів та оцінку економічної ефективності впровадження модулю прогнозування міцності бетонних виробів на основі узагальненої моделі у виробництво.

На першому етапі приведено результати математичного планування експерименту після попередніх експериментальних випробовувань з врахуванням впливу складу суміші, тиску привантаження, впливу пластифікуючих добавок, В/Ц та тривалості попереднього вібрування.

З врахуванням того, що додавання пластифікатора суттєво не впливає на величину розподілу тиску по висоті бетонної суміші у прес-формі, висунуто припущення про те, що значення величини бокового тиску $P_{бок}$ на глибині h від поверхні пресуючого пуансона є функцією $P_{бок}=f(V/C, \tau_{вібр}, P_{прес})$, де $\tau_{вібр}$ – тривалість попереднього вібрування суміші; $P_{прес}$ – тиск пресування бетонної суміші.

Математичне планування експерименту виконувалось для діапазону варіювання факторів: x_1 - В/Ц суміші (0,3...0,65); x_2 - тривалість попереднього вібрування, с (5...120); x_3 - тиск пресування, МПа (0,25...10).

На рис. 7 наведено поверхні відгуку цільової функції - бокового тиску $P_{бок}$ на рівнях сенсорів тиску СБ-1...СБ-4 (рис. 2), в координатах $\tau_{вібр} - P_{прес}$ ($x_1=0$).

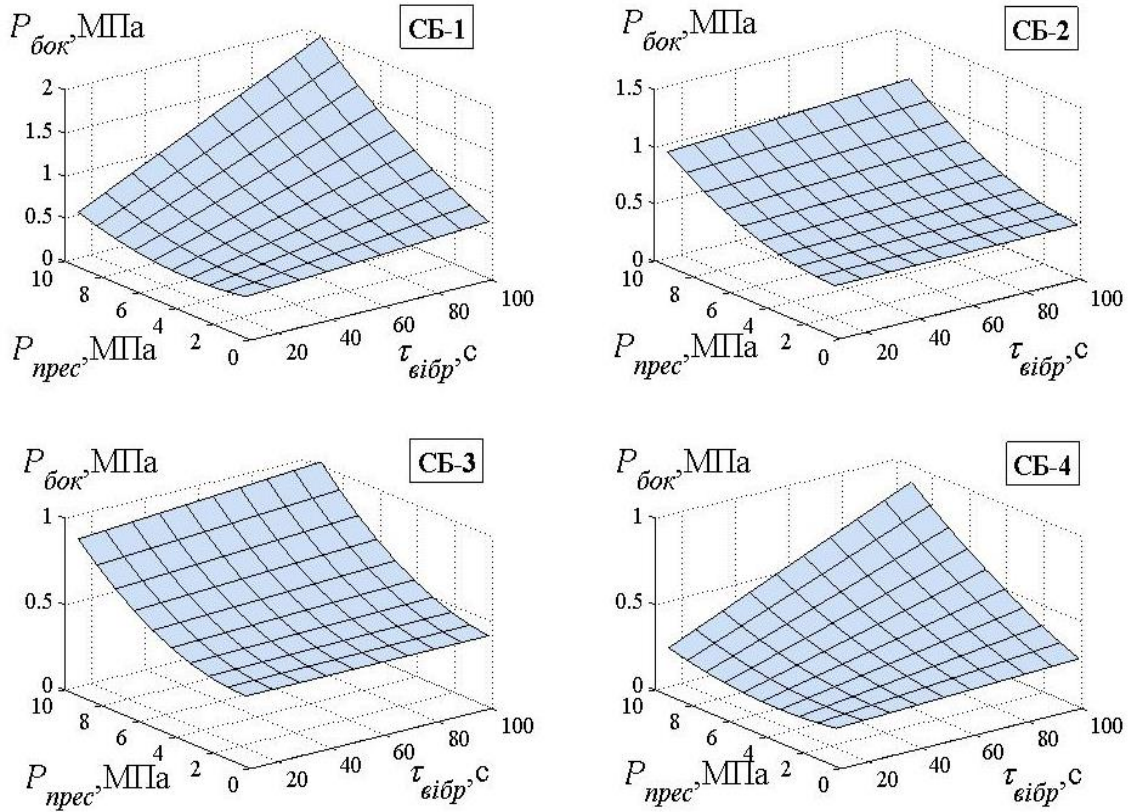


Рисунок 7 – Поверхня відгуку $P_{бок}$ в координатах $\tau_{вібр} - P_{прес}$ ($x_1=0$), на рівнях сенсорів СБ-1...СБ-4

Аналіз рис. 7 свідчить про різний характер залежності цільової функції $P_{бок}$ на рівнях сенсорів тиску СБ1...СБ-4 від тиску пресування $P_{прес}$ та часу вібрування $\tau_{вібр}$ бетонної суміші.

В результаті регресійного аналізу експериментальних даних для звичайних та попередньо віброваних бетонних сумішей запропоновано залежність для визначення прогнозованої величини бокового тиску P_h на глибині h бетонного виробу

$$D_h = (A + B \ln(P))C^h, \tag{12}$$

де P – тиск пресування; A, B, C - емпіричні коефіцієнти; h - проміжне миттєве значення глибини прес-форми, на рівні якої вимірюється боковий тиск.

Закономірності розподілу бокового тиску при пресуванні $P_{прес}=5$ МПа для різних проектних складів сумішей, що досліджувались, наведено на рис. 8.

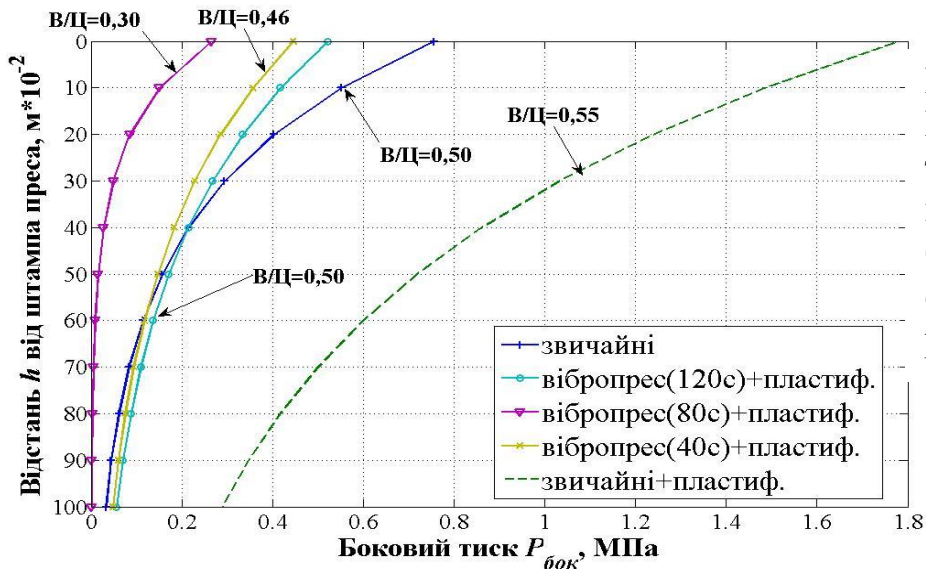


Рисунок 8 – Розподіл тиску по висоті бетонної суміші для різних

Вплив тривалості вібрування на зміну величини бокового тиску в бетонній суміші неоднаковий (рис. 8). Але явно просліджується тенденція впливу В/Ц та додавання пластифікаторів на величину бокового тиску для невіброваних сумішей. Так, для пластифікованої суміші з В/Ц=0,55 початковий боковий тиск склав $P_{поч} \approx 1,8$ МПа, а для суміші з В/Ц=0,5, $P_{поч} \approx 0,75$ МПа. Тобто, чим більше В/Ц та пластичніша суміш тим більше значення величини бокового тиску, яке зменшується по висоті пресованої бетонної суміші зі збільшенням відстані від площини прикладання тиску.

В роботі найшли відображення залежності розподілу бокового тиску за різними авторами при рівних співвимірних вихідних даних параметрів бетонної суміші. На рис. 9 наведено порівняння характеру величини бокового тиску за різними авторами для тиску пресування 3 МПа.

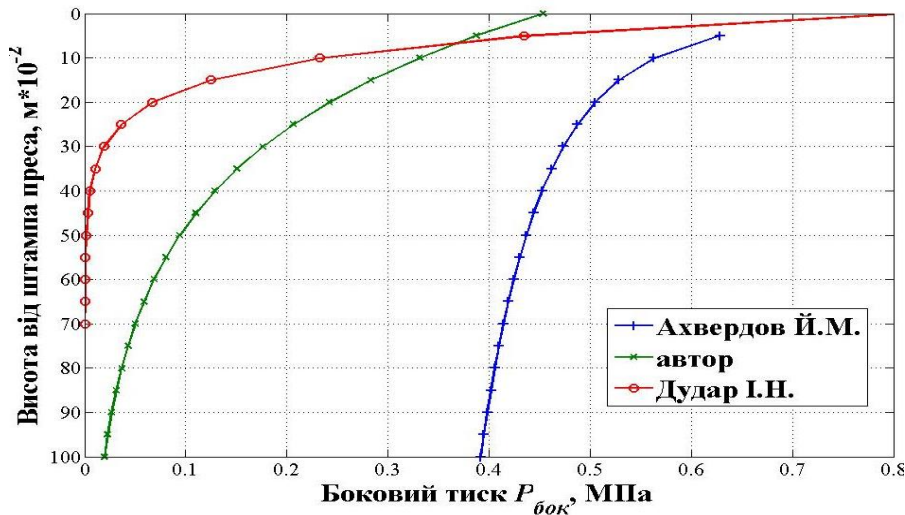


Рисунок 9 – Порівняння теоретичних залежностей розподілу бокового тиску по висоті бетонної суміші (Ахвердов Й. М., Дудар І. Н.) з

Аналіз рис. 9 свідчить про неоднозначність характеру розподілу величини бокового тиску, що отримано теоретичним шляхом (Ахвердов Й. М, Дудар І. Н.) та за результатом експериментальних випробувань (автор). Затухання значення бокового тиску по висоті звичайних бетонних сумішей залежить від часу вібрування, В/Ц, та кількості пластифікуючої добавки. При цьому показано, що незалежно від умов пресування та складу суміші, менше значення В/Ц знижує величину бокового тиску.

За аналогією до методики прогнозування проектної міцності бетонного виробу запропоновано модель для визначення впливу факторів технологічного процесу та співвідношення заповнювачів суміші на прогнозовану величину бокового тиску на стінку прес-форми (рис. 10).

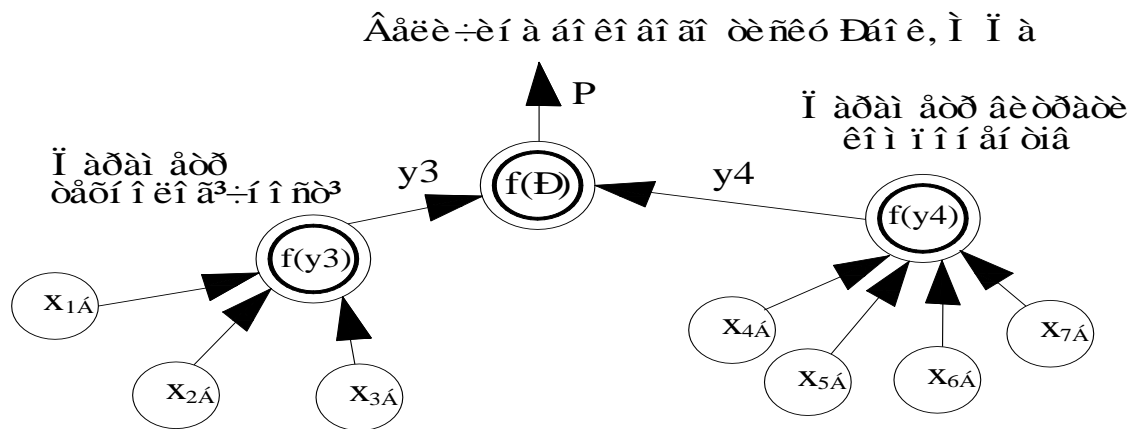


Рисунок 10 – Дерево ієрархічного висновку моделі прогнозованої величини бокового тиску в масиві суміші при ущільненні бетонного виробу пресуванням ($x_{1Б}$ – В/Ц суміші, $x_{2Б}$ – тривалість попереднього вібрування, с, $x_{3Б}$ – тиск пресування, МПа, $x_{4Б}$ – витрата цементу, кг, $x_{5Б}$ – витрата піску, кг, $x_{6Б}$ – витрата щебеню, кг, $x_{7Б}$ – витрата пластифікатора, % від маси цементу)

Навчальна вибірка математичної моделі прогнозування величини бокового тиску складалась із 51 експериментальних даних випробувань бокового тиску на стінку прес-форми для заданих компонентів бетонної суміші. Тестова вибірка математичної моделі складалась із 43 даних. При виконанні 35-ти ітерацій величина середньоквадратичного відхилення між експериментальними даними та результатами моделювання величини бокового тиску зменшилась з 0,71 МПа до 0,28 МПа (рис. 11).

Аналіз рис. 11 свідчить, що модель прогнозування величини бокового тиску можна адаптувати до цільової функції $R_{бок}$, оскільки просліджується зниження величини

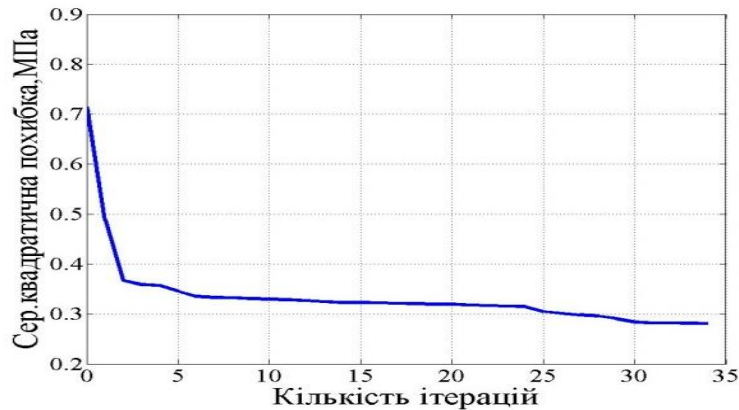


Рисунок 11 – Динаміка зміни величини середньоквадратичної похибки при навчанні моделі прогнозування

середньоквадратичної похибки на кривій графіку, причому краще корелювання з експериментальними даними має регресійна модель.

Виконано дослідно-промислове впровадження результатів дослідження. Запропоновано принципову структурно-логічну схему роботи впровадженого модуля експертно-моделювальної системи прогнозування міцності бетонних виробів на прикладі заводу залізобетонних конструкцій (рис. 12).



Рисунок 12 – Структурно-логічна схема технологічного процесу виробництва пресованих бетонних виробів з урахуванням впровадженого модуля інтелектуальної підтримки прийняття рішень при прогнозуванні міцності

Запропонований модуль дозволить оперативно отримувати рецептуру бетону з прогнозованою міцністю з врахуванням кількісних та якісних параметрів заповнювачів та технологічних процесів виготовлення бетонних виробів.

Апробацію результатів дослідження здійснено на ТОВ "Поділля-залізобетон" у м. Вінниця. При оціночній вартості модуля 1500 грн., термін окупності від його впровадження на виробництві становить два місяці, виходячи з припущення про щомісячну потребу проектування двох нових складів бетону.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі розроблено метод прогнозування міцності та розподілу бокового тиску при виробництві пресованих бетонних виробів, заснований на використанні апарату нечіткої логіки та регресійного аналізу, що дозволило врахувати вплив кількісних та якісних параметрів заповнювачів бетонної суміші, а також технологічних параметрів ущільнення на цільову функцію. До основних результатів роботи можна віднести:

1. Запропоновано концептуальні моделі прогнозування міцності бетонних виробів у вигляді ієрархічного дерева логічного висновку включає в себе чіткі (витрати компонентів, технологічні параметри ущільнення) та нечіткі параметри (тип, форма, поверхня заповнювачів) й розподілу бокового тиску.

2. Встановлено зв'язок між коефіцієнтом тертя по боковій поверхні прес-форми μ та бокового тиску ξ , що виникає при пресуванні бетонних сумішей при виробництві бетонних дорожніх каменів. Визначено зв'язок між коефіцієнтами n^3 зміни величини бульбашки повітря, густиною бетонної суміші ρ та глибиною занурення h у бетонну суміш. Величини коливання зменшення об'єму бульбашки на глибині 0,6 м несуттєві, а саме: для тиску 5 МПа становлять 0,26...0,29 % від початкового об'єму бульбашки на поверхні, для тиску 10 МПа становлять 0,13...0,14 %, для тиску 15 МПа 0,08...0,09 % відповідно від початкового об'єму бульбашки на поверхні для сумішей важких бетонів з густиною 2250-2500 кг/м³;

3. Розроблено експериментальну установку та методику для дослідження фізико-механічних та реологічних характеристик бетонної суміші при її пресуванні. Визначено затухаючий характер розподілу бокового тиску по висоті масиву пресованої бетонної суміші для різних складів, тривалості попереднього вібрування, вмісту пластифікуючих добавок й пресуючого зусилля, який апроксимується показниковою функцією $D_h = (A + B \ln(P))C^h$. Виявлено прямий зв'язок В/Ц з величиною бокового тиску, незалежно від тривалості вібрування, причому максимальний боковий тиск $P_{бок} \approx 1,8$ МПа на поверхні форми ($h=0$) при тиску пресування $P_{прес} = 5$ МПа буде у пластифікованій суміші з В/Ц=0,55, а мінімальний $P_{бок} \approx 0,35$ МПа у суміші з В/Ц=0,3. З'ясовано, що зі зменшенням В/Ц суттєво збільшується опір суміші до пресування, який становить 12,5 МПа для попередньовібрувальної суміші з В/Ц=0,46 та 1 МПа для суміші з В/Ц=0,65;

4. Розроблено експертно-моделювальну систему прогнозування міцності бетонного виробу та розподілу бокового тиску. Визначено, що краще корелювання з експериментальними даними має регресійна модель бокового тиску. Для системи прогнозування міцності бетонного виробу створено інтерфейс користувача в комплексі "MATLAB". Адаптація моделі прогнозування міцності свідчить про зниження величини середньоквадратичної похибки від 14,8 МПа до 9,1 МПа для важких бетонів марки М600 і вище. Коефіцієнт кореляції між величиною міцності, визначеної експериментальним шляхом, та величиною, розрахованою за побудованою моделлю, становить $R = 0,855$. Адекватність запропонованої моделі прогнозування міцності бетонних виробів перевірена методом парних порівнянь Сааті, що підтверджується отриманими інтегральними критеріями міцнісної переваги 0,642, 0,752 та 0,888 для трьох різних складів бетону в побудованій трьохрівневій ієрархічній моделі;

5. Модуль експертно-моделювальної системи впроваджено в якості дублюючої системи підтримки прийняття рішень з прогнозування міцності бетонних виробів на ТОВ "Поділля-залізобетон" у м. Вінниця. При оціночній вартості модуля 1500 грн., термін окупності від його впровадження на виробництві становить два місяці, виходячи з припущення про щомісячну потребу проектування двох нових складів бетону. Запропонований модуль прогнозування міцності бетонного виробу на базі нечіткої логіки дозволить суттєво скоротити час на підготовку до виробництва складу бетону з майбутньою прогнозованою міцністю, матеріальні витрати, витрати праці фахівців високої кваліфікації при частій зміні сировини та вимог, що пред'являються до якості бетонних виробів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях:

1. Бікс Ю. С. Побудова функцій належності нечітких оцінок впливу параметрів моделі на прогнозовану міцність бетону // Вісн. Хмельниц. нац. ун-ту. – 2010. – №5. – С.137-141.
2. Бікс Ю. С. Закономірності розподілення тиску по висоті бетонної суміші що ущільнюється /Ю. С. Бікс, І. Н. Дудар // Сучасні технології, матеріали і конструкції в буд-ві – 2010 – №2, С.134-138. – ISBN 5-256-00380-1.
3. Бікс Ю.С. Прогнозування міцності бетону при використанні лінгвістичних змінних апарату нечіткої логіки /Ю. С. Бікс // Наукові праці ВНТУ. – 2011.– №1. – С.1-6. – Режим доступу до журналу http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vntu/2011_1/2011-1.files/uk/11ysbfla_ua.pdf.
4. Бікс Ю. С. Математична модель зміни величини бульбашки повітря в процесі виготовлення бетонних виробів //Ю. С. Бікс, Г. С. Ратушняк, Н. М. Слободян // Вісн. Вінниц. політехн. ін-ту. – 2011. –№2.– С. 14-17. – ISSN 1997-9266. (Внесок здобувача: запропоновано зв'язок величини об'єму бульбашки затиснутого повітря від густини бетонної суміші та прикладеного тиску).
5. Бікс Ю. С. Моделювання взаємодії бетонної суміші з прес-формою під час ущільнення / Ю. С. Бікс, Г. С. Ратушняк, І. В. Коц // Сучасні технології, матеріали і конструкції в буд-ві. – 2011.–№2. – С.92 – 95 – ISBN 5-256-00380-1.
6. Бікс Ю. С. Визначення глобальних векторів переваг за методом парних порівнянь Сааті у моделі прогнозування міцності бетону / Ю. С. Бікс // Вісн. Нац. ун-ту водного госп-ва та природокористування – 2011.– №3(55). – С.116-122.
7. Бікс Ю. С. Оптимізація параметрів моделі прогнозування міцності бетону шляхом навчання та тестування / Ю. С. Бікс // Сучасні технології матеріали та конструкції у буд-ві. – 2011.– №2. – С.41-44 – ISBN 5-256-00380-1.
8. Бікс Ю. С. Експериментальне визначення бокового тиску в процесі пресування бетонних сумішей / Ю. С. Бікс // Вісн. Вінниц. політехн. ін-ту. – 2012. –№2.– С. 20-24. – ISSN 1997-9266.
9. Бікс Ю. С. Дослідження характеру розподілу бокового тиску по висоті прес-форми при пресуванні бетонних сумішей / Ю. С. Бікс // Сучасні технології матеріали та конструкції у буд-ві. – 2012.–№1. – С.23-28 – ISBN 5-256-00380-1.
10. Бікс Ю. С. Інтеграція експертно-моделювальної системи прогнозованої міцності бетонних виробів у виробництво / Ю. С. Бікс // Сучасні технології матеріали та конструкції у буд-ві. – 2012.–№2. – С.98-101 – ISBN 5-256-00380-1.
11. Бікс Ю. С. Розподіл бокового тиску в бетонних сумішах різного складу, зпресовуваних під час виготовлення дорожнього каменю / Ю. С. Бікс // Вісн. Вінниц. політехн. ін-ту. – 2012. –№5.– С. 15-18. – ISSN 1997-9266.

Публікації за матеріалами конференцій:

12. Прогнозування міцності бетону на базі апарату нечіткої логіки за допомогою “MATLAB 7”: матеріали 4-ої міжнар. конф. молодих вчених [“Geodesy, architecture & construction 2011”], (Львів, 24-26 листопада 2011 р.) / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т “Львів. політехніка”– Л: Львів. політехніка : С. 132-135.

Патенти на корисну модель:

13. Пат. 53612 України, G01N 3/10. Установа для вимірювання тиску в масиві бетонної суміші. / Дудар І. Н., Бікс Ю. С.; Заявл. 20.04.2010; Опубл. 11.10.2010, № 19.
14. Пат. 64440 України, G01N 3/10. Установа для вимірювання тиску в масиві бетонної суміші. / Дудар І. Н., Бікс Ю. С.; Заявл. 04.04.2011; Опубл. 10.11.2011, № 21.
15. Пат. 69747 України, G01N 3/10. Установа для вимірювання горизонтальної складової тиску в масиві бетонної суміші / Ратушняк Г. С., Бікс Ю. С.; Заявл. 02.11.2011; Опубл. 10.05.2012, № 9.

АНОТАЦІЯ

Бікс Юрій Семенович. Прогнозування міцності та розподілу бокового тиску при виробництві пресованих бетонних дорожніх каменів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2013 р.

Дисертація присвячена питанням прогнозування міцності та розподілу бокового тиску при виробництві пресованих бетонних виробів з використанням теорії нечіткої логіки та регресійного аналізу. В роботі викладено результати теоретичних та експериментальних досліджень величини прогнозованої міцності бетонних виробів. Запропоновано теоретичні залежності для знаходження об'єму бульбашки невіддаленого з глибини суміші повітря та визначення коефіцієнту бокового тертя для квадратного, прямокутного й круглого перерізів форми. Експериментальним шляхом визначено характер розподілу бокового тиску для різних складів бетонних сумішей з варіюванням тривалості попереднього вібрування, тиску пресування та додаванням пластифікуючих добавок. На базі апарату нечіткої логіки, що застосований до задач прогнозування міцності бетонних виробів, розроблено програмний модуль, який можна адаптувати до цільової функції шляхом навчання моделі. Впровадження модулю прогнозування міцності бетонних виробів як дублюючої системи підтримки прийняття рішень дозволяє значно скоротити час на підготовку до виробництва складу бетону з майбутньою прогнозованою міцністю.

Ключові слова: прогнозування міцності, бетонна суміш, боковий тиск, пресування, адаптація моделі, нечітка логіка, регресійний аналіз, база знань.

АННОТАЦИЯ

Бикс Юрий Семёнович. Прогнозирование прочности и распределения бокового давления при производстве прессованных бетонных дорожных камней. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Винницкий национальный технический университет. Винница, 2013 г.

Диссертация посвящена вопросам прогнозирования прочности и распределения бокового давления при производстве прессованных бетонных изделий с использованием теории нечеткой логики и регрессионного анализа. В работе изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований величины прогнозируемой прочности бетонных изделий. Предложены теоретические зависимости для нахождения объема пузыря не удаленного из глубины смеси воздуха, а также для определения коэффициента бокового трения для квадратного, прямоугольного и круглого сечения формы при прессовании бетонных смесей. Экспериментальным путем определен характер распределения бокового давления для различных составов бетонных смесей с варьированием продолжительности предварительного вибрирования, прессующего давления и добавлением пластифицирующих добавок. На базе аппарата нечеткой логики, который применен к задачам прогнозирования прочности бетонных изделий, разработан программный модуль, который можно адаптировать к целевой функции путем обучения модели. Внедрение модуля прогнозирования прочности бетонных изделий как дублирующей системы поддержки принятия решений позволяет значительно сократить время на подготовку к производству состава бетона с будущей прогнозируемой прочностью.

Ключевые слова: прогнозирование прочности, бетонная смесь, боковое давление, прессования, адаптация модели, нечеткая логика, регрессионный анализ, база знаний.

ABSTRACT

Biks Yuri S. Strength and lateral pressure distribution's prediction in pressed concrete road stones manufacturing. – Manuscript.

PhD competition thesis by specialty 05.23.05 - building materials and products. - Vinnitsa National Technical University. Vinnitsa, 2013.

The thesis is devoted to strength and lateral pressure distribution's prediction in concrete mixtures by manufacturing of compressed concrete items, using the theory of fuzzy logic and regression analysis. This paper describes the results of theoretical and experimental studies of concrete products' predicted strength value.

A hierarchical classification and formalization of influence factors in design of concrete products with predicted strength is proposed in form of fuzzy sets and their transformations only with bell-shaped membership function for all linguistic variables. The models of strength prediction and lateral pressure distribution in design of concrete products are presented by hierarchical inference system tree which expresses knowledge nested into each other about the influence factors as linguistic variables which specified in the relevant universal set.

The theoretical relationship between the friction coefficient on the lateral surface of the mold μ and lateral pressure ξ , which occurs in process of concrete road stones manufacturing is determined. The relationship between coefficient n of air bubbles change, density of concrete mixture ρ and depth of immersion h in the concrete mix is obtained. Fluctuation values of reduction bubbles volume at a depth of 0.6 m are minor, namely at pressure of 5 MPa is 0.26 ... 0.29% of the initial volume of the surface bubbles, at pressure of 10 MPa is 0.13 ... 0.14% and for a pressure of 15 MPa is 0.08 ... 0.09% respectively of the initial surface bubbles volume for mixtures with a density 2250-2500 kg/m³.

A modeling-expert system to determine such parameters as predicted strength of concrete products and pressure distribution is realized in the program and user interface in "MATLAB". Adapting the proposed model on a sample of experimental data shows reduction in the value of mean square error of strength prediction from 14.8 MPa to 9.1 MPa. The correlation coefficient between the concrete product's strength value specified by the experimental and calculated model is $R = 0,855$. The model adequacy is tested by Saaty pairwise comparison method. Found that the integral strength criterion of built three-level hierarchical model for concrete compositions A, B and C respectively equal to 0.642, 0.752 and 0.888. The obtained values of the integral strength criterion demonstrate the adequacy of the proposed model.

Experimental setup and methodology for the study of physical, mechanical and rheological characteristics of the concrete mix is developed. Experimentally confirmed that lateral pressure magnitude from compaction pressure has decrement character by height of the mold. The character of lateral pressure distribution in array of pressed concrete mixtures of different compositions, the previous vibration time duration and plasticizing additives is determined. It was found that the content of plasticizing additives did not significantly affect the extruding pressure resistance. Found that the value of W/C ratio is inversely proportional to the extruding pressure resistance, i.e. with W/C decreasing - increases the mixture extrusion resistance.

The analytical relationship between the emerging lateral pressure's change value by mold height according to its geometry is established. The analytical relationship for different compositions of the mixture with varying duration preceding vibration of lateral pressure distribution by mold height is obtained. A comparative analysis is carried out for the dependence of lateral pressure attenuation value for compressed concrete mixture with theoretical formulas. The results are correlated with experimental data.

Expert modeling module system is implemented as alternate decision support system for concrete products strength predicting at "Podillya-zalizobeton" Ltd in Vinnitsa. When the estimated value of module 1500 UAH, payback period from its enterprise implementation is two months, assuming the need to design two new concrete mixtures per month. The proposed prediction concrete strength module based on fuzzy logic will significantly reduce the preparing time for the production of concrete with future predicted strength, material costs, labor costs of qualified professionals.

Keywords: prediction strength concrete mix, lateral pressure, fuzzy logic, regression analysis, compression, knowledge base.

