

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 666.972:625.142.42

В. В. ПРИСТИНСЬКА^{1*}

^{1*}Каф. «Управління проектами, будівлі та будівельні матеріали», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 373 15 46, ел. пошта viktoriya_mega@mail.ru, ORCID 0000-0002-4820-9757

ПОКРАЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНУ ПІДРЕЙКОВИХ ОСНОВ ЗА ДОПОМОГОЮ ХІМІЧНИХ ДОБАВОК

Мета. На залізницях України дуже велика кількість підрейкових основ експлуатується з тріщинами. Багато наукових робіт попередніх років присвячено вдосконаленню саме конструкції підрейкових основ. Основними причинами виникнення дефектів є: незадовільна експлуатація колії; недостатні фізико-механічні характеристики бетону; низька якість вихідних матеріалів. Тому в роботі необхідно розробити оптимальний склад бетону для виготовлення цих залізобетонних виробів. **Методика.** Для оцінки впливу окремих факторів та ефектів їх взаємодії на властивості бетонної суміші та бетону використовувався метод експериментально-статистичного моделювання. При цьому враховувались методологічні основи математичного планування експерименту в технології бетону та сучасні методи оптимізації композиційних матеріалів. На основі даних, отриманих в результаті проведення планованого експерименту, котрий включав у себе 15 експериментів за допомогою комп'ютерної програми MathCad, було отримано рівняння регресії, за якими описуються відповідні фізико-механічні характеристики бетону. На основі отриманих рівнянь за допомогою комп'ютерної програми MATLAB R2012b було побудовано графіки, які відображають залежності відгуків системи від зміни двох факторів впливу при фіксованому значенні третього фактору. **Результати.** Спочатку було проведено аналіз тріщин, які виникають у процесі експлуатації в конструкціях підрейкових основ. Далі надано причини можливого виникнення цих тріщин. В процесі проведених досліджень автором зроблено висновок, що для розробки раціонального складу бетону треба провести планований експеримент із використанням якісних матеріалів. У результаті цього встановлено, що для підвищення міцності необхідне введення хімічних добавок до складу бетону, що дозволяє знизити кількість цементу. **Наукова новизна.** Експериментально встановлено використання сучасних хімічних добавок для покращення властивостей бетону. Розроблено моделі, що відображають характеристики міцності бетону, за допомогою яких можна оптимізувати склад бетонної суміші. **Практична значимість.** Дослідженням встановлено, що використання більш раціонального складу бетону для виготовлення підрейкових основ дозволить підвищити їх міцність, а разом із цим і надійність цих конструкцій.

Ключові слова: підрейкові основи; мостове полотно; залізобетонні шпали; довговічність; тріщиностійкість; оптимальний склад бетону; дефекти; фактори впливу; напруга; деформація; модель відгуку системи

Вступ

Довговічність споруд підрейкових основ (залізобетонні шпали, плити безбаластного мостового полотна) залежить від багатьох факторів.

Основними дефектами підрейкових основ є тріщини, розташовані у різних місцях та в різних напрямках. Тому необхідно встановити основні причини їхнього виникнення та надати рекомендації щодо можливого усунення цих дефектів.

Виконаний аналіз матеріалів досліджень і публікацій вказує на те, що суттєво підвищити морозостійкість бетонного покриття можна шляхом формування певної структури матеріа-

лу: максимально зменшити кількість пор і домогтися їх анізотропного розташування; знизити внутрішні напруги в бетоні шляхом застосування безусадкових технологій, що дозволить знизити рівень розкриття тріщин. Досвід обстежень і випробувань БМП, які виконувалися на діючих лініях Укрзалізниці показує, що плити, які зараз випускаються недостатньо надійні та довговічні. Вони протягом нетривалого періоду експлуатації (близько 5 років) можуть набувати масові пошкодження. Таким чином, існує проблема недостатньої тріщиностійкості підрейкових основ.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Мета

Проаналізувати попередній досвід щодо виникнення дефектів в підрейкових основах на стадії експлуатації. Викласти результати виконання планованого експерименту. Покращити властивості бетону за допомогою спеціально підібраної комплексної хімічної добавки ПЛКП.

Методика

Для оцінки впливу окремих факторів та ефектів їх взаємодії на властивості бетонної суміші та бетону використовувався метод експериментально-статистичного моделювання. При цьому враховувались методологічні основи математичного планування експерименту в технології бетону та сучасні методи оптимізації композиційних матеріалів. На підставі даних, отриманих в результаті виконання запланованого експерименту, що включав в себе 15 експериментів, за допомогою комп'ютерної програми MathCad було отримано рівняння регресії, за якими описуються відповідні фізико-механічні характеристики бетону. На підставі отриманих рівнянь за допомогою комп'ютерної програми MATLAB R2012b було побудовано графіки, які відображають залежності відгуків системи від зміни двох факторів впливу при фіксованому значенні третього фактора.

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна цієї роботи полягає в тому, що було отримано моделі, які відображають характеристики міцності бетону залежно від зміни кожного з трьох обраних факторів впливу.

Практична значимість полягає в розробці раціонального складу бетону для впровадження на виробництво залізобетонних шпал та плит безбаластного мостового полотна.

Виклад основного матеріалу. Основними дефектами, виявленими в залізобетонних шпалах та плитах БМП, є тріщини, розташовані в різних місцях та в різних напрямках.

З [3] видно, що найбільш розповсюдженим видом дефектів є розкол шпали по наскрізній поздовжній тріщині, що проходить через арматурні дротики (приблизно 25 % від загальної

кількості виявлених), який, в свою чергу, викликаний недостатніми фізико-механічними характеристиками бетону як на стадії виготовлення шпали, так і на стадії її укладання у верхню будову колії. Основними причинами виникнення дефекту цього виду є: «культура» виробництва шпали; недостатня товщина захисного шару бетону; низька якість використовуваних матеріалів для виготовлення бетонної суміші; недосконалість підбору складу бетону; низька якість перемішування, вкладання та вібрування бетонної суміші та неправильний вибір режиму її пропарювання. Якісний контроль усіх цих факторів дозволить значно зменшити частоту виникнення таких дефектів.

Другим найбільш поширеним експлуатаційним дефектом є розкол шпали по наскрізній поздовжній тріщині з розкриттям понад 3 мм, що проходить через отвір для закладних болтів (приблизно 17 % від загальної кількості виявлених). Цей дефект можна віднести до таких, що виникли через неякісну експлуатацію колії. Для запобігання виникнення дефектів цього типу необхідно регулярно виконувати діагностування та суцільне підтягування закладних болтів.

Третім та четвертим видами за кількістю виявлених дефектів є злам шпали в середній частині з руйнуванням бетону, розкриттям поперечної тріщини або розривом арматури та злам шпали в підрейковій частині з руйнуванням бетону, розкриттям поперечної тріщини або розривом арматури (15 % та 11 % від загальної кількості виявлених відповідно). Ці дефекти шпал можуть виникнути як під час нового будівництва, так і через незадовільну експлуатацію колії.

Також поширеним видом дефектів є поздовжня тріщина з розкриттям до 3 мм, що проходить через арматурні дротики на торцях і посередині шпали (приблизно 10,5 % від загальної кількості виявлених). Цей дефект виникає через ті ж самі причини, що і розкол по наскрізній поздовжній тріщині, і тому справедливо буде сказати, що і методи запобігання виникнення цього виду дефекту для них мають бути однаковими. Інші види дефектів є менш поширеними.

Таким чином, можна стверджувати, що основними причинами виникнення дефектів

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

є незадовільна експлуатація колії та недостатні фізико-механічні характеристики матеріалів для виготовлення залізничних шпал.

Безбаластне мостове полотно (БМП) на залізобетонних плитах має високу стабільність положення елементів, захищає від забруднення й корозії верхні пояси балок проїзної частини й зв'язки між ними, забезпечує безпечний прохід по мосту колісних пар у випадку сходу з рейок і є економічним за сумарною вартістю виготовлення і укладання. Все це визначає масове застосування безбаластного мостового полотна на залізобетонних плитах при будівництві нових і реконструкції залізничних мостів, що експлуатуються. Водночас, при обстеженні мостів виявлено велику кількість тріщин у залізобетонних плитах, що мають усадковий і силовий характер.

Простежується характерна послідовність утворення й розвитку тріщин. Звичайно спочатку проявляються усадочні тріщини на нижній або верхній поверхнях плит. Потім під дією тимчасового навантаження й залежно від умов обпирання усадочні тріщини на нижній поверхні плит переростають у силові поздовжні або поперечні відносно осі. Далі в результаті змінного характеру навантаження плит тріщини стають наскрізними й розвиваються по осі від торця до торця або поперек осі від високоміцних шпильок до торців плит. Також зафіксована велика кількість дефектних плит із тріщинами, що проходять по діагоналі через технологічні отвори (для шпильок, контруктників), які значно скорочують довговічність мостового полотна, а отже, і його надійність, підвищують експлуатаційні витрати [3, 9, 10, 11].

З огляду літератури видно, що запропоновувалося багато конструктивних рішень для покращення надійності плит безбаластного мостового полотна. Але дуже мало уваги приділяється такій проблемі, як недосконалість бетону, з якого виготовляються ці плити, а саме: використання неякісних заповнювачів, неоднорідність бетонної суміші, недостатня міцність, морозостійкість та тріщиностійкість бетону.

В результаті всього вище сказаного можна зробити висновок про необхідність розробки оптимального складу бетону для виготовлення як плит БМП, так і залізобетонних шпал з метою покращення їхньої довговічності.

Результати виконання планованого експерименту. Як в'язучий був використаний цемент Амвросіївський ПЦ І-500 Н, що відповідає вимогам ДСТУ Б.В.2.7-46:2010 «Будівельні матеріали. Цементи загально-будівельного призначення. Технічні умови».

Як заповнювачі використовувалися такі матеріали: пісок річковий з модулем крупності 1,28, що відповідає вимогам ДСТУ Б.В.2.7-32-95 «Дрібні заповнювачі для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови» та пісок з модулем крупності 2,8 згідно з ДСТУ Б.В.2.7-210:2010 «Пісок із відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови», а також щебінь фракції 5-20 мм відповідно до ДСТУ Б.В.2.7-75-98 «Будівельні матеріали. Щебінь і гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови».

Виконання запланованого експерименту дозволяє скоротити об'єм експериментальних досліджень та отримати при цьому достатньо ймовірну модель поведінки системи.

Реалізація запланованого експерименту виконується в такій послідовності [2]:

- постановка задачі, вибір основних показників контролю якості функціонування системи (виходи Y_i);
- вибір основних факторів впливу на систему та діапазону їх зміни за апріорною інформацією;
- виконання експериментальних досліджень за встановленим алгоритмом плану;
- статистична обробка отриманих результатів.

Фактор є визначальним для формування певної характеристики або здійснює на неї значний позитивний вплив, що не носить екстремального характеру в доцільних межах варіювання, і, в той же час, негативно впливає на іншу характеристику. Аналіз впливу зміни цього фактору є необхідним для встановлення його раціональної величини, тобто обмеження негативного впливу при максимально можливому збереженні позитивного.

У випадку, коли залежність впливу фактору на основну характеристику його дії носить екстремальний або близький до нього характер, при додатковому негативному впливі на інші

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

характеристики, доцільною є стабілізація фактору в зоні екстремуму.

Позначення факторів експерименту та рівні їх варіювання наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Фактори	Позначення	Рівні варіювання та натуральні значення факторів		
		-1	0	+1
Вміст цементу, кг/м ³	X_1	350	400	450
Вміст відсіву, % від маси дрібного заповнювача	X_2	0	50	100
Вміст добавки ПЛКП, % від маси в'язучого	X_3	0	0,55	1,1

Отримана при обробці результатів експериментальних досліджень математична модель взаємозв'язку між впливаючими на систему факторами X_i та виходами системи Y_i , що є відгуками на впливи, при перевірці її адекватності з достатньою ймовірністю відображає рівняння стану об'єктивно існуючої системи.

В цій роботі застосовується поліноміальна експериментально-статистична модель загального вигляду

$$\hat{Y} = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i X_i + \sum_{i < j} a_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k a_{ii} X_i^2,$$

де a_0 – величина відгуку системи при базовому рівні факторів; a_i – лінійний ефект фактору X_i що характеризує середню швидкість зміни відгуку системи при управлінні фактором X_i в діапазоні $-1 \leq X_i \leq +1$; a_{ii} – квадратичний ефект фактору X_i , що характеризує прискорення зміни відгуку системи при управлінні фактором; a_{ij} – ефект взаємодії, змінює середню швидкість зміни відгуку системи при управлінні фактором X_i в залежності від рівня фактору X_{i+1} .

На підставі даних, отриманих в результаті виконання запланованого експерименту, який

включав в себе 15 експериментів, за допомогою комп'ютерної програми MathCad було отримано рівняння регресії, за якими описуються відповідні фізико-механічні характеристики бетону.

Отримані після статистичного аналізу моделей рівняння регресії дозволяють простежити індивідуальний та спільний вплив чинників на досліджувані вихідні параметри системи.

Аналіз отриманої системи рівнянь зміни основних параметрів дозволить встановити допустимі величини вмісту окремих компонентів в суміші та оптимізувати склад бетону.

Рівняння регресії, яке відображає середню міцність на стиск зразків після тепловологісної обробки:

$$Y_1 = 399,773 + 50,045 \cdot X_1 - 9,829 \times \\ \times X_2 + 55,033 \cdot X_3 - \\ -8,142 \cdot X_1^2 + 17,372 \cdot X_2^2 - 5,682 \times \\ \times X_3^2 - 18,704 \cdot X_1 \cdot X_2 - \\ -1,061 \cdot X_1 \cdot X_3 - 16,276 \cdot X_2 \cdot X_3.$$

Рівняння регресії, яке відображає середню міцність на стиск зразків у віці 7 діб при твердінні в природних умовах:

$$Y_2 = 432,725 + 47,776 \cdot X_1 + \\ + 4,825 \cdot X_2 + 25,316 \cdot X_3 - \\ -13,263 \cdot X_1^2 - 15,018 \cdot X_2^2 + \\ + 7,197 \cdot X_3^2 - 18,951 \cdot X_1 \cdot X_2 - \\ -3,631 \cdot X_1 \cdot X_3 + 2,731 \cdot X_2 \cdot X_3.$$

Рівняння регресії, яке відображає середню міцність на стиск зразків у віці 28 діб при твердінні в природних умовах:

$$Y_3 = 516,448 + 50,289 \cdot X_1 - \\ -2,801 \cdot X_2 + 23,266 \cdot X_3 - \\ -7,893 \cdot X_1^2 - 12,733 \cdot X_2^2 + \\ + 30,122 \cdot X_3^2 - 14,475 \cdot X_1 \cdot X_2 - \\ -0,193 \cdot X_1 \cdot X_3 - 4,412 \cdot X_2 \cdot X_3.$$

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

На підставі отриманих рівнянь за допомогою комп'ютерної програми MATLAB R2012b було побудовано графіки, які відображають залежності відгуків системи від зміни двох впливаючих факторів при фіксованому значенні третього фактора.

Міцність є найважливішою характеристикою бетону, яка визначає його якість як будівельного матеріалу і здатність чинити опір руйнуванню від внутрішніх напружень, що виникають у результаті зовнішнього навантаження. Тому саме міцності бетону в першу чергу приділялася увага при виконанні запланованого експерименту.

Міцність бетону при стиску залежить безпосередньо як від активності в'язучої речовини (цементу), так і від його кількості в суміші. Проте високий вміст цементу впливає на міцність бетонної поверхні до певної межі, після якої вона залишається незмінною. У такому випадку підвищиться усадка, і зміниться консистенція складу бетонної суміші, зросте виділення тепла, і почнуть з'являтися температурні і усадочні тріщини.

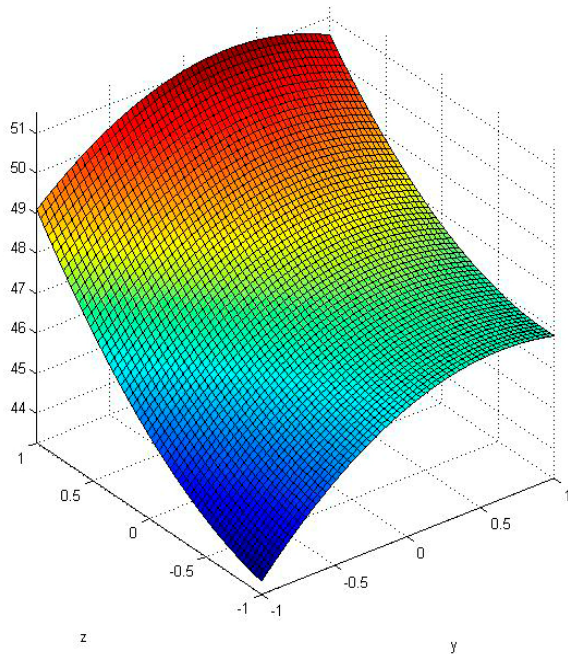


Рис. 1. Модель залежності відгуку системи (міцності бетону у віці 28 діб, МПа) від зміни впливаючих факторів X_2 (% відсіву) та X_3 (ПЛКП) при фіксованому значенні X_1 (% цементу) = -1

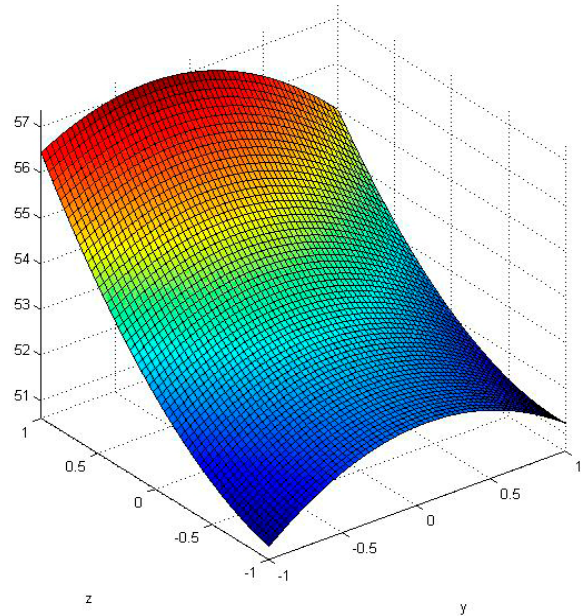


Рис. 2. Модель залежності відгуку системи (міцності бетону у віці 28 діб, МПа) від зміни впливаючих факторів X_2 (% відсіву) та X_3 (ПЛКП) при фіксованому значенні X_1 (% цементу) = 0

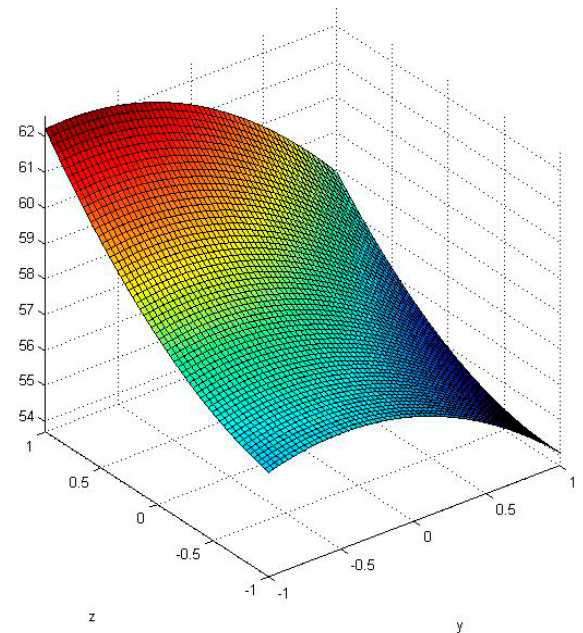


Рис. 3. Модель залежності відгуку системи (міцності бетону у віці 28 діб, МПа) від зміни впливаючих факторів X_2 (% відсіву) та X_3 (ПЛКП) при фіксованому значенні X_1 (% цементу) = 1

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

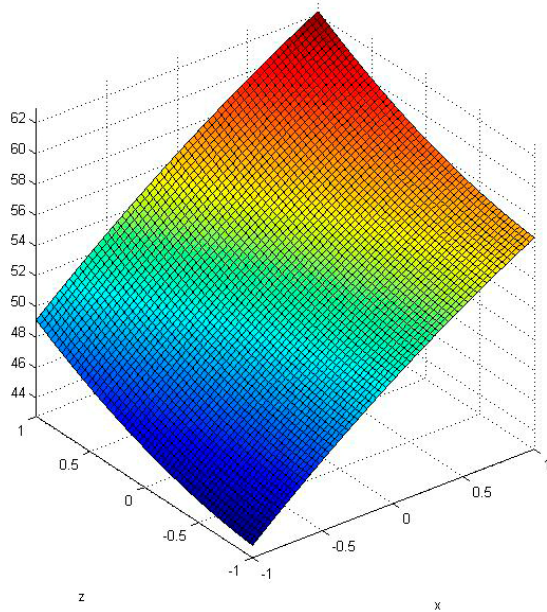


Рис. 4. Модель залежності відгуку системи (міцності бетону у віці 28 діб, МПа) від зміни впливаючих факторів X_1 (% цементу) та X_3 (ПЛКП) при фіксованому значенні X_2 (% відсіву) = -1

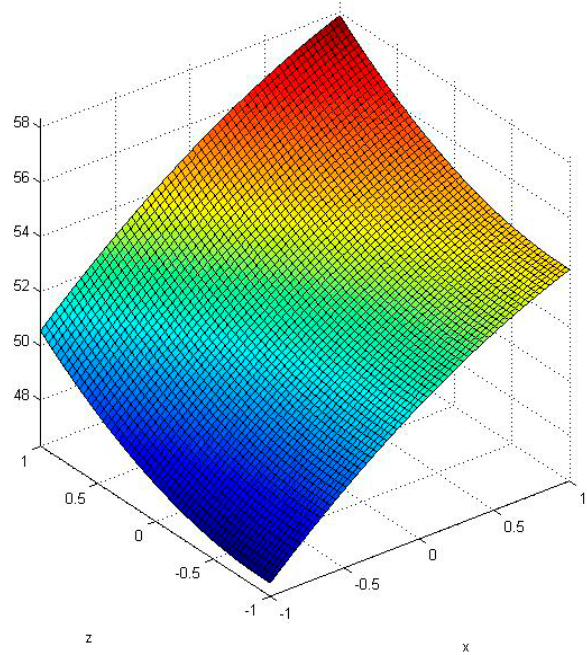


Рис. 6. Модель залежності відгуку системи (міцності бетону у віці 28 діб, МПа) від зміни впливаючих факторів X_1 (% цементу) та X_3 (ПЛКП) при фіксованому значенні X_2 (% відсіву) = 1

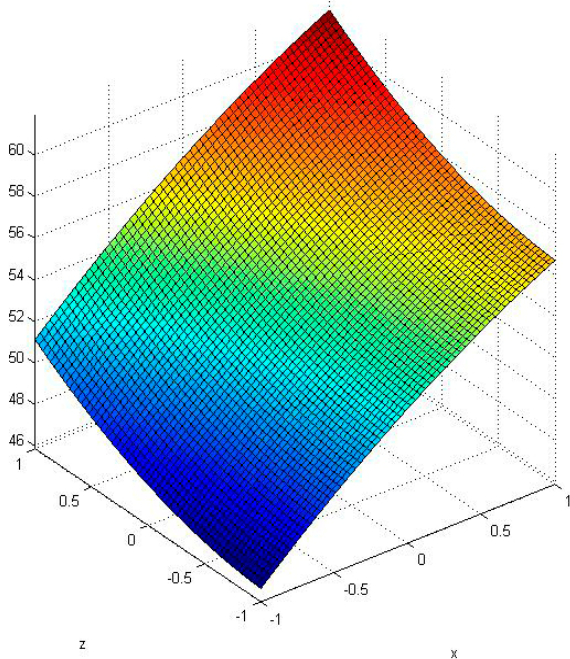


Рис. 5. Модель залежності відгуку системи (міцності бетону у віці 28 діб, МПа) від зміни впливаючих факторів X_1 (% цементу) та X_3 (ПЛКП) при фіксованому значенні X_2 (% відсіву) = 0

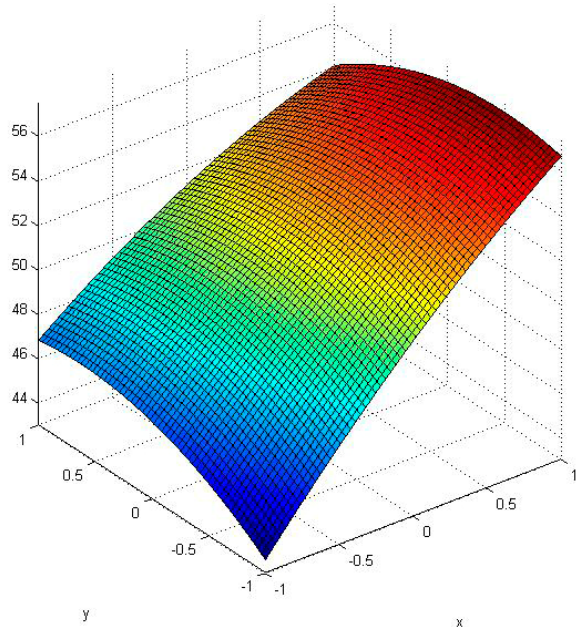


Рис. 7. Модель залежності відгуку системи (міцності бетону у віці 28 діб, МПа) від зміни впливаючих факторів X_1 (% цементу) та X_2 (% відсіву) при фіксованому значенні X_3 (ПЛКП) = -1

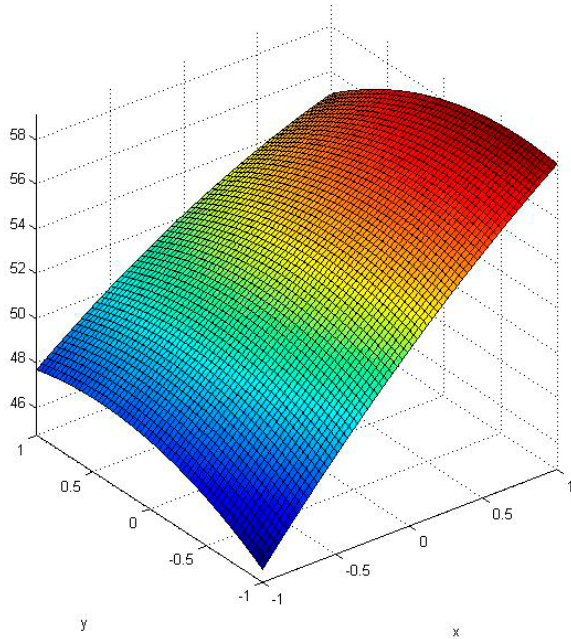


Рис. 8. Модель залежності відгуку системи (міцності бетону у віці 28 діб, МПа) від зміни впливаючих факторів X_1 (% цементу) та X_2 (% відсіву) при фіксованому значенні X_3 (ПЛКП) = 0

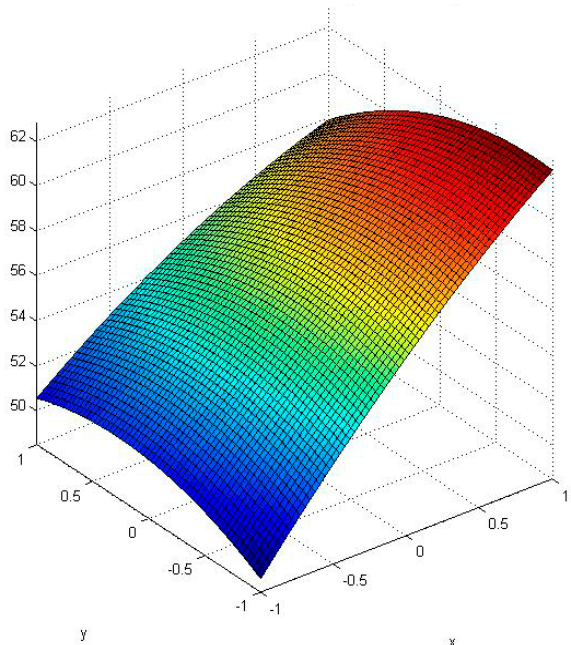


Рис. 9. Модель залежності відгуку системи (міцності бетону у віці 28 діб, МПа) від зміни впливаючих факторів X_1 (% цементу) та X_2 (% відсіву) при фіксованому значенні X_3 (ПЛКП) = 1

Висновки

При виконанні досліджень було з'ясовано, що оптимальним є використання відсіву у кількості 50 % від загальної маси дрібного заповнювача, оскільки саме при такому співвідношенні можна отримати оптимальну укладку бетонної суміші і забезпечити підвищену міцність бетону порівняно з використанням дрібного піску.

При виконанні експерименту застосовувалася комплексна хімічна добавка ПЛКП, яка дещо змінила структуру цементного каменю, що призвело до покращення властивостей бетону. Склад добавки було підібрано спеціально для використання при приготуванні бетонів підрейкових основ.

В подальшому планується виконання більш детального експерименту для отримання такого складу бетону, що буде мати необхідні характеристики міцності, водонепроникності, морозостійкості, тріщиностійкості, і який можна буде рекомендувати для виготовлення залізобетонних шпал та плит БМП.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Афанасьев, Н. Ф. Добавки в бетоны и растворы / Н. Ф. Афанасьев, М. К. Целуйко. – Київ : Будівельник, 1989. – 128 с.
2. Вознесенский, В. А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ : учебник / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, Б. Л. Огарков. – Киев : Вища шк., 1989. – 328 с.
3. Дослідження експлуатаційного ресурсу попередньо напружених залізобетонних шпал українського виробництва / В. В. Рибкін, Ю. Л. Заяць, В. В. Коваленко, П. О. Пшінько // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 39. – 2011. – С. 173–179.
4. ДСТУ Б. В.2.7-46-96. Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. – Київ : Держкоммістобудування України, 1996. – 15 с.
5. ДСТУ Б. В.2.7-65-97. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Класифікація. – Київ : Держкоммістобудування України, 2000. – 15 с.
6. Касторных, Л. И. Добавки в бетоны и строительные растворы : учебно-справоч. пособие / Л. И. Касторных. – Ростов на Дону : Феникс, 2007. – 221 с.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

7. Коваленко, В. В. Структурообразование в модифицированных бетонах / В. В. Коваленко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 41. – С. 157–163.
8. Методические указания по применению теории планирования эксперимента при конструировании строительных материалов с заданными свойствами. – Днепропетровск : ДИИТ, 1989. – 24 с.
9. Мірошніченко, С. В. Дослідження напруг і деформацій у плитах безбаластного мостового полотна / С. В. Мірошніченко // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Харків, 2009. – Вип. 109. – С. 113–119.
10. Мірошніченко, С. В. Механізм тріщиноутворення у плитах безбаластного мостового полотна / С. В. Мірошніченко // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Харків, 2011. – Вип. 125. – С. 160–164.
11. Систематизація пошкоджень залізобетонних плит безбаластного мостового полотна залізничних мостів / А. А. Пługін, С. В. Мірошніченко, О. А. Забіяка [та ін.] // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Харків, 2009. – Вип. 109. – С. 120–130.
12. Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates – Influence of the use of superplasticizers / D. Matias, J. de Brito, A. Rosa, D. Pedro // Construction and Building Materials. – 2013. – Vol. 44. – P. 101–109. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.011.
13. Nagrockiene, D. The effect of cement type and plasticizer addition on concrete properties / D. Nagrockiene, I. Pundiene, A. Kicaite // Construction and Building Materials. – 2013. – Vol. 45. – P. 324–331. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.076.

В. В. ПРИСТИНСКАЯ^{1*}

^{1*}Каф. «Управление проектами, здания и строительные материалы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (056) 373 15 46, эл. почта viktoriya_mega@mail.ru, ORCID 0000-0002-4820-9757

УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНА ПОДРЕЛЬСОВЫХ ОСНОВАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК

Цель. На железных дорогах Украины очень большое количество подрельсовых оснований эксплуатируется с трещинами. Много научных работ предыдущих лет посвящено совершенствованию именно конструкции подрельсовых оснований. Основными причинами возникновения дефектов являются: неудовлетворительная эксплуатация пути; недостаточные физико-механические характеристики бетона; низкое качество исходных материалов. Поэтому в работе необходимо разработать оптимальный состав бетона для изготовления этих железобетонных изделий. **Методика.** Для оценки влияния отдельных факторов и эффектов их взаимодействия на свойства бетонной смеси и бетона использовался метод экспериментально-статистического моделирования. При этом учитывались методологические основы математического планирования эксперимента в технологии бетона и современные методы оптимизации композиционных материалов. На основе данных, полученных в результате проведения планируемого эксперимента, включающего в себя 15 исследований с помощью компьютерной программы MathCad, были получены уравнения регрессии, по которым описываются соответствующие физико-механические характеристики бетона. На основе полученных уравнений с помощью компьютерной программы MATLAB R2012b были построены графики, отражающие зависимости откликов системы от изменения двух факторов при фиксированном значении третьего фактора. **Результаты.** Сначала был проведен анализ трещин, которые возникают в процессе эксплуатации в конструкциях подрельсовых оснований. Далее предоставлены причины возможного возникновения этих трещин. В процессе проведенных исследований автором сделан вывод, что для разработки рационального состава бетона нужно провести планируемый эксперимент с использованием качественных материалов. В результате этого установлено, что для повышения прочности необходимо введение химических добавок в состав бетона, что позволяет снизить количество цемента. **Научная новизна.** Экспериментально установлено использование современных химических добавок для улучшения свойств бетона. Разработаны модели, отражающие характеристики прочности бетона, с помощью которых можно оптимизировать состав бетонной смеси. **Практическая значимость.** Исследование доказало, что использование более рационального состава

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

бетона для изготовления подрельсовых оснований позволит повысить их прочность, а вместе с этим, и надежность этих конструкций.

Ключевые слова: подрельсовые основания; мостовое полотно; железобетонные шпалы; долговечность; трещиностойкость; оптимальный состав бетона; дефекты; факторы влияния; напряжение; деформация; модель отклика системы

V. V. PRYSTYNSKA^{1*}

^{1*}Dep. «Management of Projects, Construction and Construction Materials», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. 38 (056) 373 15 46, e-mail viktoriya_mega@mail.ru, ORCID 0000-0002-4820-9757

CONCRETE PROPERTIES IMPROVEMENT OF SLAB TRACKS USING CHEMICAL ADDITIVES

Purpose. On the Railways of Ukraine there are a very large number of slab tracks are operated with cracks. Many scientific works of previous years are dedicated to improving the design of slab tracks. The main causes of defects are: poor exploitation of the track; insufficient physic-mechanical characteristics of concrete; poor quality of initial materials. It is therefore necessary to develop an optimum concrete mix for the manufacture of these concrete products. **Methodology.** To assess the impact of individual factors and their interactions effects on properties of concrete and concrete method of experimental and statistical modeling was used. At this methodological fundamentals of mathematical experiment planning in concrete technology and modern methods of optimization of composite materials were taking into account. Based on the obtained data during the planned experiment conducting, including 15 studies and using the computer program MathCad, were obtained the regression equations, which describe the relevant physical and mechanical properties of concrete. On the basis of the equations with the help of computer program MATLAB R2012b the graphs were drawn illustrating the dependences of system response from the changes of two factors at a fixed value of the third factor. **Findings.** Firstly was the analysis of cracks that occur in the process of operation in the constructions of slab tracks. Further reasons of possible occurrence of these cracks were presented. In the process of the conducted research the author has concluded that for rational composition development of concrete it is necessary to conduct the planned experiment with the use of quality materials. It was established that to increase the strength chemical additives should be added in to concrete mix, it will let reduce cement amount. **Originality.** Experiments proved the usage of modern chemical additives in order to improve the properties of concrete. Models were developed, reflecting characteristics of concrete strength. With their help one can optimize concrete composition. **Practical value.** Research proved that the usage of more sustainable concrete mix for production of slab tracks will increase their strength, and with it the reliability of these designs mechanical properties.

Keywords: slab tracks; deck of bridge; concrete sleepers; durability; crack strength; optimal concrete composition; damages; impact factors; stress; deformation; response model of system

REFERENCES

1. Afanasev N.F., Tseluyko M.K. *Dobavki v betony i rastvory* [Additives in concrete and mortars]. Kyiv, Budivelnik Publ., 1989. 128 p.
2. Voznesenskiy V.A., Lyashenko T.V., Ogarkov B.L. *Chislennyye metody resheniya stroitelno-tekhnologicheskikh zadach na EVM* [Numerical methods of solving the construction and technological objectives of the computers]. Kiev, Vishcha shkola Publ., 1989. 328 p.
3. Rybkin V.V., Zaiats Yu.L., Kovalenko V.V., Pshinko P.O. *Doslidzhennia ekspluatatsiinoho resursu poperedno napruzhenykh zalizobetonnykh shpal ukrainskoho vyrobnytstva* [Research of the operating life of prestressed concrete sleepers of Ukrainian production]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 39, pp. 173-179.
4. *DSTU B. V.2.7-46-96. Budivelni materialy. Tsementy zahalno budivelnoho pryznachennia. Tekhnichni umovy* [State Standard B V.2.7-46-96. Construction Materials. Cements for general construction purposes. Technical conditions]. Kyiv, Derzhkommistobuduvannia Ukrainy Publ., 1996. 15 p.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

5. DSTU B. V.2.7-65-97. *Dobavky dlia betoniv i budivelnykh rozchyniv. Klasyfikatsiia* [State Standard V.2.7-65-97. Additives for concrete and mortars. Classification]. Kyiv, Derzhkommistobuduvannia Ukrainy Publ., 2000. 15 p.
6. Kastornykh L.I. *Dobavki v betony i stroitelnyye rastvory* [Additives for concrete and mortars]. Rostov on Don, Feniks Publ., 2007. 221 p.
7. Kovalenko V.V. *Strukturoobrazovaniye v modifitsirovannykh betonakh* [Structure formation in modified concretes]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 41, pp. 157-163.
8. *Metodicheskiye ukazaniya po primeneniyu teorii planirovaniya eksperimenta pri konstruirovanii stroitelnykh materialov s zadannymi svoystvami* [Guidelines for use of the theory of planning of experiment at designing of building materials with the set properties]. Dnipropetrovsk, DIIT Publ., 1989. 24 p.
9. Miroshnichenko S.V. *Doslidzhennia napruh i deformatsii u plytakh bezbalastnoho mostovoho polotna* [The study stresses and strains in slabs of the bridge deck]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu* [Proc. of Ukrainian State Academy of Railway Transport], 2009, issue 109, pp. 113-119.
10. Miroshnichenko S.V. *Mekhanizm trishchynoutvorennia u plytakh bezbalastnoho mostovoho polotna* [Mechanism of cracks in slabs of the bridge deck]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu* [Proc. of Ukrainian State Academy of Railway Transport], 2011, issue 125, pp. 160-164.
11. Pluhin A.A., Miroshnichenko S.V., Zabiaka O.A., Lynnyk H.O., Babenko A.I. *Systematyzatsiia poshkodzen zalizobetonnykh plyt bezbalastnoho mostovoho polotna zaliznychnykh mostiv* [Systematization of the damages of concrete slabs the bridge deck railway bridges]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu* [Proc. of Ukrainian State Academy of Railway Transport], 2009, issue 109, pp. 120-130.
12. Matias D., Brito J.de, Rosa A., Pedro D. *Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates – influence of the use of superplasticizers*. *Construction and Building Materials*, 2013, vol. 44, pp.101–109. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.011.
13. Nagrockiene D., Pundiene I., Kicaite A. *The effect of cement type and plasticizer addition on concrete properties*. *Construction and Building Materials*, 2013, vol. 45, pp. 324-331. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.076.

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. О. М. Пішньком (Україна); д.т.н, проф. С. А. Щербаком (Україна)

Надійшла до редколегії 16.09.2015

Прийнята до друку 11.11.2015