



УДК 665.75

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЛИБИНИ ПРОГРІВУ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ

І.І. Назаренко¹, М.М. Нестеренко^{2*}, Т.М. Нестеренко², Д.С. Педь²

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури
03680, Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна

² Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка
Першотравневий пр., 24, Полтава, 36011, Україна, nesterenkonikola@gmail.com

Анотація. У статті приводяться експериментальні дослідження величини прогріву асфальтобетонного покриття під час його регенерації. Пропонується план багатofакторного експерименту, реалізація якого проводиться за допомогою асфальторозігрівача.

Ключові слова: асфальторозігрівач, асфальтобетонне покриття, глибини прогріву асфальтобетонного покриття, план експерименту.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛУБИНЫ ПРОГРЕВА АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ

И.И. Назаренко¹, Н.Н. Нестеренко^{2*}, Т.Н. Нестеренко², Д.С. Педь²

¹ Киевский национальный университет строительства и архитектуры
03680, Воздухофлотский проспект, 31, Киев, Украина, sanyadrg@gmail.com

² Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка
Першотравневый пр., 24, Полтава, 36011, Украина, nesterenkonikola@gmail.com

Аннотация. В статье приводятся экспериментальные исследования величины прогрева асфальтобетонного покрытия при его регенерации. Предлагается план многофакторного эксперимента, реализация которого производится с помощью асфальторазогревателя.

Ключевые слова: асфальторазогреватель, асфальтобетонное покрытие, глубина прогрева асфальтобетонного покрытия, план эксперимента.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE ASPHALT CONCRETE PAVEMENT HEATING

I.I. Nazarenko, M.M. Nesterenko^{2*}, T.N. Nesterenko², D.S. Ped²

¹ Kyiv National University of Construction and Architecture
Povitroflotsky av., 31, Kyiv, 03680, Ukraine, sanyadrg@gmail.com

² Poltava National Technical University, of Yuri Kondratyuk
Pershotravnevyi av. 24, Poltava, 36011, Ukraine, nesterenkonikola@gmail.com

Abstract. The article presents experimental research warming of asphalt concrete pavement during its regeneration. Multi-factor plan of the experiment, the implementation of which is carried out with the help of asphalt heaters are proposed.

Keywords: asphalt heaters, asphalt concrete pavement, asphalt concrete pavement depth of warm, plan of the experiment.

Постановка проблеми. Однією з сучасних альтернативних методик з проведення ремонту доріг є інфрачервона регенерація асфальтобетону. В основі методу лежить застосування інфрачервоного підігрівача. Обладнання з інфрачервоними підігрівачами є порівняно новим і недостатньо вивченим. Не вивчено, які фактори найбільше впливають на глибину прогріву покриття та не проведено їх оптимізацію. З цією метою потрібно проводити експериментально-теоретичні дослідження роботи асфальторозігрівачів.

Аналіз досліджень і публікацій із даної проблеми. У роботах [1, 2] проводився аналіз температурного режиму асфальтобетонного покриття при високочастотному та

факельному нагріві. При цьому увага зверталася на зміну структури асфальтобетонного покриття, а не на глибину його прогріву.

Метою даної статті є спланувати багатофакторний експеримент і отримати функції глибини прогріву покриття на основі статистичного аналізу даних факторного експерименту. Виявити фактори, які мають найбільший вплив на глибину прогріву.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження глибини прогріву асфальтобетонного покриття, при роботі асфальторозігрівача, вирішено провести багатофакторний експеримент. Такому рішенню сприяли наступні переваги таких експериментів:

– вони більше ефективні в порівнянні з експериментами, у яких фактори змінюються по одному.

– факторний експеримент необхідний при наявності взаємодії, щоб уникнути помилкових висновків.

– факторні експерименти дозволяють оцінювати ефекти фактора на декількох рівнях інших факторів, тобто зробити висновки, справедливі для цілого діапазону умов експерименту.

Перший етап планування експерименту для одержання моделі заснований на варіюванні на трьох рівнях. У цьому випадку, при відомому числі факторів, можна знайти число дослідів, необхідне для реалізації всіх можливих сполучень рівнів факторів. Формула для розрахунку числа дослідів у цьому випадку виглядає $N = 3^k = 3^2 = 9$ (випробувань).

Умови експерименту зручно записувати у вигляді таблиці (табл. 1), що називають матрицею планування експерименту. В нашому випадку виконувалося варіювання двох факторів: висота розташування пальника над асфальтобетонним покриттям та час прогріву покриття.

Табл. 1. Матриця планування експерименту 3^2

№ експерименту	Висота розташування пальника над поверхнею, мм			Час прогріву покриття, хв.		
	100	120	140	5	10	15
1	+	-	-	+	-	-
2	+	-	-	-	+	-
3	+	-	-	-	-	+
4	-	+	-	+	-	-
5	-	+	-	-	+	-
6	-	+	-	-	-	+
7	-	-	+	+	-	-
8	-	-	+	-	+	-
9	-	-	+	-	-	+

Реалізацію плану експерименту будемо виконувати за допомогою інфрачервоного асфальторозігрівача (рис. 1).



Рис. 1. Запроектований асфальторозігрівач

Даний асфальторозігрівач дозволяє задавати необхідну температуру поверхні нагрівання і підтримувати її тривалий час. Для забезпечення точної роботи в конструкції використовується оптичний термометр, який безконтактним способом визначає температуру поверхні. Використання розігрівача дозволяє ремонтувати різні дефекти покриття. Основою технології є інфрачервоний нагрів ремонтваної поверхні для досягнення максимальної її адгезії з новим матеріалом.

В результаті експериментальних досліджень були отримані значення глибини прогріву асфальтного покриття (Y) при варіюванні двох факторів: висота розташування пальника над асфальтобетонним покриттям (X_1) та час прогріву покриття (X_2) (табл. 2). Глибина прогріву асфальтного покриття вимірялася за допомогою шупа.

Табл. 2. Результати експериментальних досліджень

№ експерименту	Висота розташування пальника над поверхнею, мм	Час прогріву покриття, хв.	Глибина прогріву покриття, мм
	$h (X_1)$	$t (X_2)$	$a(Y)$
1	100	5	31
2	100	10	47
3	100	15	54
4	120	5	29
5	120	10	36
6	120	15	49
7	140	5	25
8	140	10	34
9	140	15	39

Одержавши експериментальні дані, розраховують значення коефіцієнтів регресії [3-5].

Значення вільного члена (b_0) беруть як середнє арифметичне всіх значень параметра оптимізації в матриці ϵ

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N y_u, \quad (1)$$

де y_u – значення параметра оптимізації в u -м досліді; N – число дослідів у матриці.

Лінійні коефіцієнти регресії розраховують по формулі:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot y_u}{N}, \quad (2)$$

де x_{iu} – кодоване значення фактору x_i в u -м досліді.

Коефіцієнти регресії, що характеризують парну взаємодію факторів, знаходять по формулі:

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot y_u}{N}, \quad (3)$$

Рівняння регресії для $k=3$.

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1^2 + b_4 x_2^2 + b_{12} x_1 x_2, \quad (4)$$

де b_0 – вільний член; b_1, b_2, b_3 – лінійні коефіцієнти; b_{12}, b_{13}, b_{23} – коефіцієнти подвійної взаємодії.

Повне число всіх можливих коефіцієнтів регресії, включаючи b_0 , лінійні коефіцієнти й коефіцієнти взаємодій всіх порядків, дорівнює числу дослідів повного факторного експерименту.

В результаті статистичного аналізу отримані експериментальні залежності (5-8) та графіки функцій (рис. 3, 4).

Рівняння для визначення глибини прогріву асфальту з урахуванням парних лінійно-квадратичних взаємодій має вигляд

$$y = 673.8 - 11.54x_1 - 182.9x_2 - 9.17x_2^2 - 2.9x_1x_2 + 0.15x_1x_2^2 \quad (5)$$

або

$$a = 673.8 - 11.54h - 182.9t - 9.17t^2 - 2.9ht + 0.15ht^2. \quad (6)$$

Рівняння для визначення глибини прогріву асфальту з урахуванням парних лінійно-лінійних взаємодій має вигляд

$$y = 34.1 - 0.25x_1 + 5.5x_2 - 0.047x_2^2 - 0.225x_1x_2. \quad (7)$$

або

$$a = 34.1 - 0.25h + 5.5t - 0.047t^2 - 0.225ht. \quad (8)$$

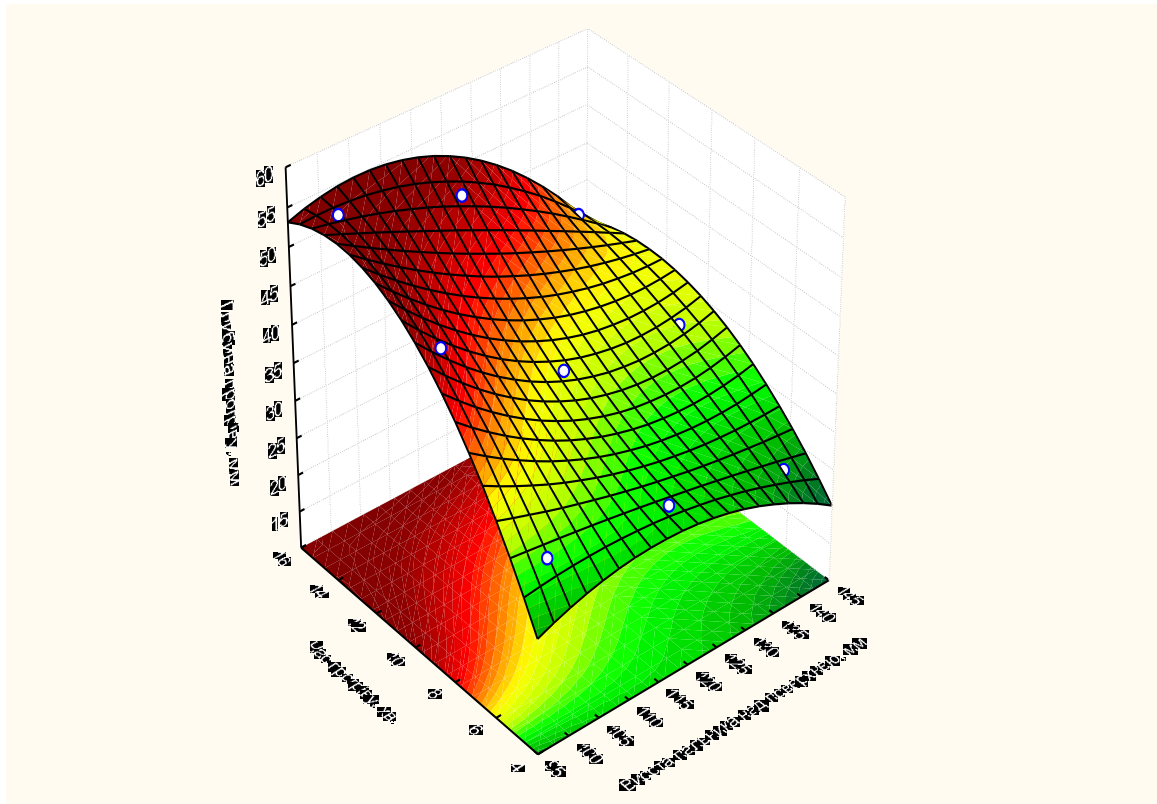


Рис. 2. Поверхня відгуку функції глибини прогріву асфальту з урахуванням парних лінійно-квадратичних взаємодій

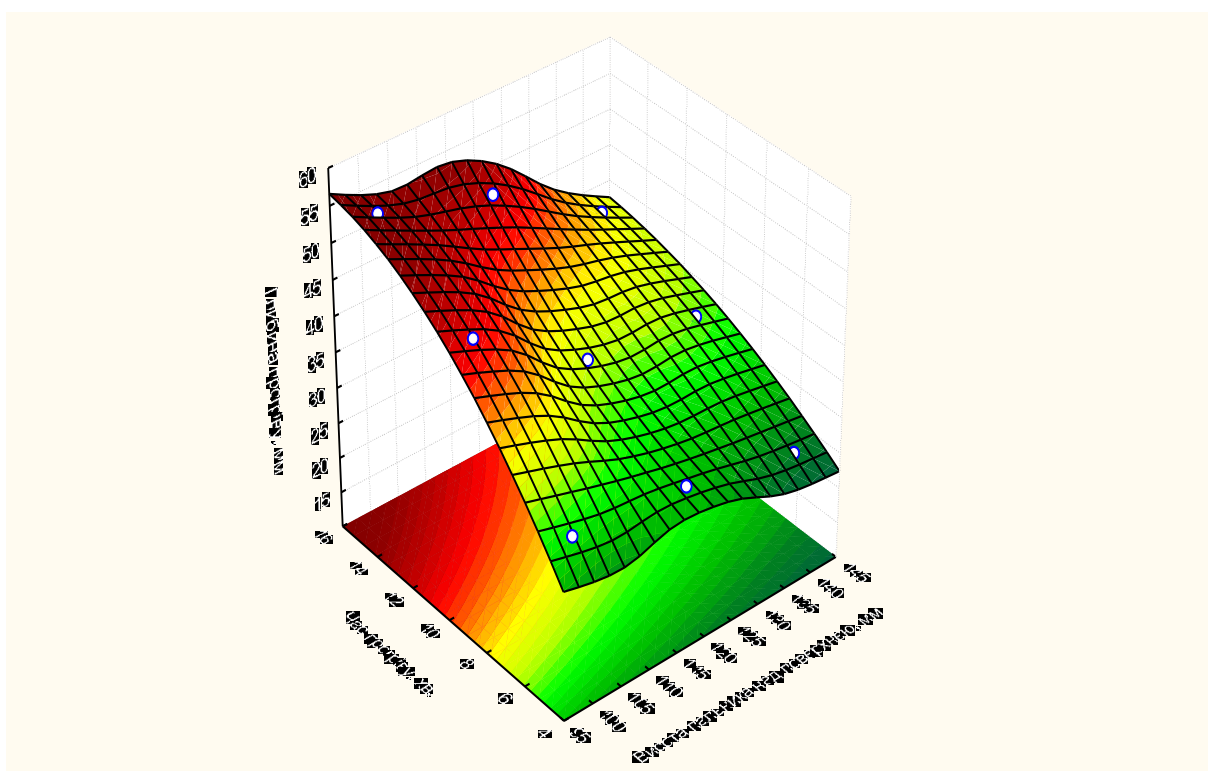


Рис. 3. Поверхня відгуку функції глибини прогріву асфальту з урахуванням парних лінійно-лінійних взаємодій

Адекватність математичної моделі визначається за критерієм Фішера. $F_{\text{розрах}} < F_{\text{табл}}$.
Отже модель адекватна.

Висновки. Отримані рівняння для визначення глибини прогріву асфальту дають змогу прогнозувати величину прогріву при відомих величинах часу прогріву та розташування пальника над поверхнею.

Проаналізувавши отримані графіки та залежності можна зробити висновок, що найбільший вплив на глибину прогрівання ґрунту має час прогрівання, оскільки у рівнянні коефіцієнт при ньому найбільший та додатній, тому рекомендується дотримання технічних вимог щодо часу прогріву, з метою забезпечення належної якості ремонту доріг.

Література

1. Алиев А.М. Основы регенерации асфальтобетона : автореф. дис. д-ра. техн.наук. / А.М. Алиев. – М.: ВЗИСИ, 1982. – 41с.
2. Урлапова Н.А. Асфальторазогреватель с горелками инфракрасного излучения / Н.А. Урлапова // Автомобильные дороги. – 1966. – №3. – С.40-45.
3. Монтгомери Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных: Пер. с англ. / Дуглас К. Монтгомери. – Л.: Судостроение, 1980. – 384 с.
4. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента при исследовании многокомпонентных систем / Иракий Георгиевич Зедгинидзе. – М.: Наука, 1976. – 390с.
5. Батрак А.П. Планирование и организация эксперимента. Учебное пособие. – Красноярск: ИПЦ СФУ, 2007. – 60 с.

References

1. Aliyev, A.M. (1982). *Osnovy regeneratsii asfal'tobetona: avtoref. dis. d-ra. tekhn.nauk [Basics of regeneration of asphalt concrete: the author's abstract. dis. Dr. technical science]*. Moscow: VZISI.
2. Uralpova, N.A. (1966). *Asfal'torazogrevatel' s gorelkami infrakrasnogo izlucheniya [Asphalt heating with infrared burners]*. *Avtomobil'nyye dorogi [Automobile roads]*, 3, 40-45.
3. Montgomeri, D.K. (1980). *Planirovaniye eksperimenta i analiz dannykh: Per. s angl. [Experiment planning and data analysis]*. Leningrad: Sudostroyeniye.
4. Zedginidze, I.G. (1976). *Planirovaniye eksperimenta pri issledovanii mnogokomponentnykh sistem [Planning an experiment in the study of multicomponent systems]*. Moscow: Nauka.
5. Batrak, A.P. (2007). *Planirovaniye i organizatsiya eksperimenta. Uchebnoye posobiye [Planning and organization of the experiment. Tutorial]*. Krasnoyarsk: IPTS SFU.

Надійшло до редакції 18.02.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Кузьминець М.П.