

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВВЕДЕНИЯ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ФИЗИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

**П.И. Грехов, С.В. Заводов**

*Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева, г. Курган, Россия*

Приведены результаты исследований влияния опоки в качестве минеральной добавки природного происхождения на водородный показатель рН асфальтобетонной смеси и тем самым на адгезионные свойства битума. Произведена оценка экономического эффекта от применения добавки (опоки) по сравнению со стандартной асфальтобетонной смесью с применением стандартной минеральной добавки МП1, изготавливаемой на МУП «Специализированное дорожное предприятие» г. Курган. Установлено, что за счет применения минеральной добавки из опоки, которая значительно дешевле минеральных добавок, применяемых на производстве асфальтобетона на данный момент, нам удалось снизить стоимость асфальтобетонной смеси, а также улучшить основные физико-механические свойства.

*Ключевые слова:* опока, минеральная добавка, адгезия, битум, асфальтобетонная смесь, показатель рН.

Проблема повышения качества строительства автомобильных дорог всегда была актуальной в Российской Федерации. В настоящее время эта проблема стоит особенно остро в связи с тем, что необходимость в строительстве и реконструкции асфальтобетонных покрытий непрерывно возрастает, а качество строительства не достигает мирового уровня. Одним из путей увеличения сроков службы покрытий автодорог является применение асфальтобетонных смесей с улучшенными физико-механическими свойствами. Причем именно на физико-механические свойства асфальтобетонов значительное влияние оказывает модифицирующая часть, особенно минеральная добавка.

В нашем случае в качестве минеральной добавки применяется тонкоизмельченная опока. В Далматовском районе Курганской области на карьере по добыче щебня опока является отходом производства (вскрышей). Ее запасы достаточно велики для использования в промышленных объемах. Опока представляет собой пористую кремнистую осадочную горную породу, состоящую в ос-

новном из микрозернистого гидратированного аморфного кремнезёма (до 75 %). Цвет от светло-серого до тёмно-серого, почти чёрного. Характеризуется большой однородностью и раковистым изломом, а также высокими адсорбционными свойствами [4].

При исследовании и построении математической модели в качестве варьируемых факторов были приняты:

–  $X_1$  – битум в интервале от 5...7 %;

–  $X_2$  – минеральная добавка (опока) в интервале от 5...7 %;

–  $X_3$  – песок (минеральный компонент) в интервале от 86...90 %.

Принята модель исследования по методу «чёрного ящика», по схеме «состав – свойство». В табл. 1 представлены процентное содержание факторных компонентов, кодировка положения составов на факторном пространстве, а также показатели рН составов [1, 2].

Отвешенную в соответствии с матрицей планирования эксперимента битумо-минеральную

**Таблица 1**

**Матрица планирования эксперимента с результатами определения водородного показателя рН**

№ состава	Факторы						Водородный показатель рН
	$X_1$		$X_2$		$X_3$		
	код	%	код	%	код	%	
1	1	7	0	5	0	88	5,25
2	2/3	6,32	0	5	1/3	88,6	5,5
3	1/3	5,66	0	5	2/3	89,34	5,15
4	2/3	6,32	1/3	5,66	0	88	5,35
5	1/3	5,66	2/3	6,32	0	88	5,2
6	0	5	1	7	0	88	5,45
7	0	5	2/3	6,32	1/3	88,68	4,85
8	0	5	0	5	1	90	4,9
9	0	5	1/3	5,66	2/3	89,34	5,9
10	1/3	5,66	1/3	5,66	1/3	88,68	4,9

смесь нагревают до температуры 100 °С и перемешивают до получения однородной массы.

Действие рН-метра основано на измерении величины ЭДС электродной системы, показатели которой пропорциональны активности ионов водорода в растворе – рН (его водородному показателю). Измерительная схема по сути своей представляет собой не более чем получение и использование показаний вольтметра, преобразованных в иные эквивалентные, в данном случае, выраженные в единицах рН, а не в вольтах.

За величину параметра рН принимают среднее арифметическое результатов испытания трех образцов; расхождение между ними не должно превышать 5 % [6, 7, 11].

После обработки результатов были получены поверхности отклика (рис. 1, 2) и уравнение регрессии зависимости параметра рН (Y) от факторов ( $X_1$  – битум,  $X_2$  – опока,  $X_3$  – песок):

$$Y = 5,31429 X_1 + 5,24286 X_2 + 5,04286 X_3 - 0,0160708 X_1 X_2 + 0,658928 X_1 X_3 + 1,04464 X_2 X_3 - 13,1624 X_1 X_2 X_3. \quad (1)$$

В результате проведенных исследований по определению водородного показателя рН введение опоки в качестве минеральной добавки повлияло на его увеличение (до 5,9 рН), при котором в битумно-минеральных смесях наблюдается

улучшенное взаимодействие с крупным заполнителем. Изменение водородного показателя говорит о снижении потенциала смеси, то есть уменьшении величины заряда поверхности, характеризующего сгущение электрической энергии около межфазной границы, и формировании устойчивых полярных связей, что способствует адсорбции битума на поверхности зерен крупного заполнителя (щебня). Это практически весьма важно, поскольку поверхность многих дорожно-строительных минеральных материалов заряжена отрицательно и битумы, тоже обладающие отрицательным зарядом, плохо к ней прилипают [3, 5, 8–10].

При расчете стоимости экспериментальных составов в стоимость минеральной добавки (опоки) входят только затраты на погрузку ( $S_{\text{погр}}$ ), доставку породы на асфальтобетонный завод ( $S_{\text{дост}}$ ) и ее помол ( $S_{\text{пом}}$ ):

– стоимость погрузки 1 тонны погрузчиком:  $S_{\text{погр}} = 41$  руб./т;  
– стоимость доставки 1 тонны груза на расстояние 200 км:  $S_{\text{дост}} = 600$  руб./т;  
– затраты на помол складываются из двух составляющих: затрат на электроэнергию и топочный газ сушильной камеры и затрат на электроэнергию для мельницы тонкого помола (мощность мельницы  $W_m = 105$  кВт, производительность

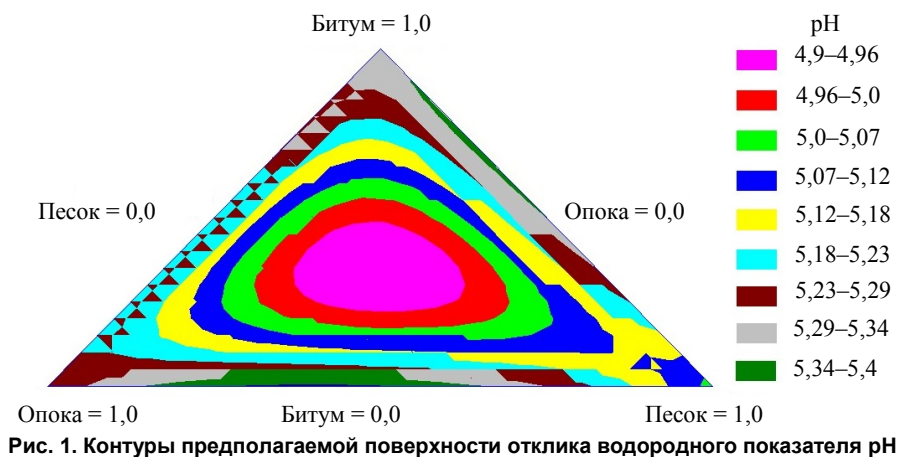


Рис. 1. Контуры предполагаемой поверхности отклика водородного показателя рН

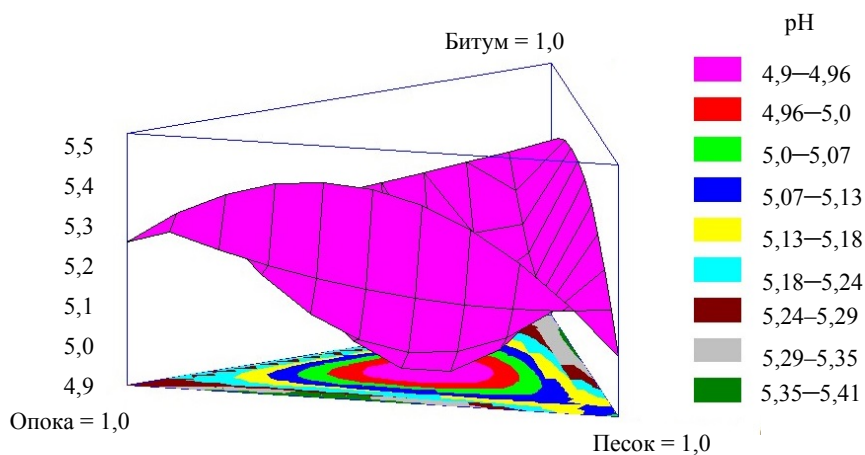


Рис. 2. Расчетная поверхность отклика водородного показателя рН

Расчет себестоимости изготовления 1 т асфальтобетонной смеси с применением опоки в качестве минеральной добавки

№ состава	Расход компонентов, т				Стоимость компонентов, руб.				Стоимость смешивания компонентов, руб.	Итого с НДС (18 %)
	Битум	Опока	Песок	Щебень	Битум	Опока	Песок	Щебень		
1	0,07	0,05	0,28	0,6	665,86	106,94	206,77	443,08	1128,91	3010,84
2	0,063	0,05	0,287		601,17	106,94	211,79			2940,43
3	0,057	0,05	0,293		538,39	106,94	216,66			2872,1
4	0,063	0,057	0,28		601,17	121,06	206,77			2951,17
5	0,057	0,063	0,28		538,39	135,17	206,77			2893,74
6	0,05	0,07	0,28		475,61	149,72	206,77			2836,83
7	0,05	0,063	0,287		475,61	135,17	211,79			2825,58
8	0,05	0,05	0,3		475,61	106,94	221,54			2803,77
9	0,05	0,057	0,293		475,61	121,06	216,66			2814,68
10	0,057	0,057	0,287		538,39	121,06	211,79			2883,01

$P = 6$  т/ч; мощность двигателей сушильной камеры  $W_{д} = 10,5$  кВт, расход газа  $g = 1000$  нм<sup>3</sup>/ч) и определяется по формуле:

$$S_{\text{пом}} = W_{\text{м}} \cdot c_{\text{г}} / P + W_{\text{д}} \cdot c_{\text{г}} / P + g \cdot c_{\text{г}} / P. \quad (2)$$

Стоимость природного газа для промышленности в Курганской области составляет  $c_{\text{г}} = 6$  руб./нм<sup>3</sup> [12]. Стоимость электроэнергии для промышленности в Курганской области составляет  $c_{\text{э}} = 4,31$  руб./кВт·ч [13]. Подсчет стоимости помола 1 т опоки по формуле (2) дает:  $S_{\text{пом}} = 1497,8$  руб./т.

Суммарные затраты (S) на приготовление 1 т минеральной добавки из опоки с учетом доставки составят:

$$S = S_{\text{погр}} + S_{\text{дост}} + S_{\text{пом}} = 2138,81 \text{ руб./т.} \quad (3)$$

Благодаря использованию минеральной добавки из опоки при производстве асфальтобетона, по результатам расчета стоимости составов (табл. 2) и сравнения их со стоимостью стандартной асфальтобетонной смеси (с применением минеральной добавки МП1), которая составляет 3113,39 руб./т (с учетом НДС 18 %), достигается снижение цены единицы продукции на 102,55–309,62 руб./т. Расчеты выполнены в ценах 1 квартала 2017 года.

### Литература

1. Абомелик, Т.П. *Методология планирования эксперимента* / Т.П. Абомелик. – УлГТУ, 2011. – 38 с.
2. Абайдуллина, Т.Н. *Проектирование состава асфальтобетона* / Т.Н. Абайдуллина, М.В. Кудоманов, И.А. Пахомов. – Тюмень: ТюмГАСУ, 2015. – 34 с.
3. Вакула, В.Л. *Физическая химия адгезии полимеров* / В.Л. Вакула, Л.М. Притыкин. – М.: Химия, 1984. – 222 с.

4. Грехов, П.И. *Влияние активных минеральных добавок на структуру и физико-механические характеристики известково-кремнезёмистых изделий: дис. ... канд. техн. наук* / П.И. Грехов. – Челябинск, 1997. – 124 с.

5. Грехов, П.И. *Улучшение параметра укрывистости битумов при введении модифицирующих добавок природного происхождения* / П.И. Грехов, С.В. Заводов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. – 2016. – Т. 16, № 4. – С. 33–37.

6. *ГОСТ 22245–90\*. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия*. – Введ. 1991-01-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996.

7. *ГОСТ EN 12850–2013. Межгосударственный стандарт. Битумы и битуминозные вяжущие. Определение значения pH битумных эмульсий* – Введ. 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2014.

8. Золотарев, В.А. *Особенности смачивания битумом поверхности каменных материалов* / В.А. Золотарев // *Изв. вузов. Строительство и архитектура*. – 1991. – № 8. – С. 68–70.

9. Колбановская, А.С. *Дорожные битумы* / А.С. Колбановская, В.В. Михайлов. – М.: Транспорт, 1973. – 264 с.

10. Кучма, М.И. *Поверхностно-активные вещества в дорожном строительстве* / М.И. Кучма. – М.: Транспорт, 1980. – С. 22–36.

11. *Руководство по эксплуатации pH-метра*. г. Нижний Новгород, 2008. – 43 с.

12. *Тарифы на природный газ*. [Электронный ресурс]. – <http://www.kurgangrc.ru> (20.03.2017)

13. *Тарифы на электроэнергию*. [Электронный ресурс]. – <http://energo-24.ru/tariffs/electro> (20.03.2017)

**Грехов Павел Иванович**, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева (Курган), [grahov-pgs@yandex.ru](mailto:grahov-pgs@yandex.ru)

**Заводов Сергей Вадимович**, аспирант кафедры промышленного и гражданского строительства, Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева (Курган), [zavodov.sergey45@gmail.com](mailto:zavodov.sergey45@gmail.com),

Поступила в редакцию 9 сентября 2017 г.

## THE STUDY OF INFLUENCE THAT INTRODUCTION OF MODIFYING ADDITIVES HAVE ON PHYSICAL AND ECONOMIC PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETES

P.I. Grekhov, grehov-pgs@yandex.ru

S.V. Zavodov, zavodov.sergey45@gmail.com

Kurgan State Agricultural Academy by T.S. Maltsev, Kurgan, Russian Federation

The results of studying the influence of silica clay as a mineral additive of natural origin on the pH value of asphalt-concrete mixture and on the adhesive properties of bitumen correspondingly are presented. An assessment of economic effect from using the additive (silica clay) in comparison with standard asphalt-concrete mixture with the use of the MP1 standard mineral additive produced at the MUP "Specialized Road Enterprise" of the city of Kurgan is carried out. It is determined that due to the use of the mineral additive made of silica clay, which is much cheaper than the mineral additives used in production of asphalt concrete at the moment, we managed to reduce the cost of the asphalt concrete mixture and improve the basic physical and mechanical properties.

*Keywords: silica clay, mineral supplement, adhesion, bitumen, asphalt concrete mixture, pH value.*

### References

1. Abomelik T.P. *Metodologija planirovanija jeksperimenta* [Methodology of Experiment Planning]. USTU Publ., 2011. 38 p.
2. Abajdullina T.N., Kudomanov M. V., Pahomov I. A. *Proektirovanie sostava asfal'tobetona* [Designing the Composition of Asphalt Concrete]. Tjumen', TjumGASU Publ., 2015. 34 p.
3. Vakula V.L., Pritykin L.M. *Fizicheskaja himija adgezii polimerov* [Physical Chemistry of Polymer Adhesion]. Moscow, Chemistry Publ., 1984. 222 p.
4. Grehov P.I. *Vlijanie aktivnyh mineral'nyh dobavok na strukturu i fiziko - mehanicheskie harakteristiki izvestkovo - kremnezjomistyh izdelij* Avtoref. doct. diss. [Effect of Active Mineral Additives on the Structure and Physico-Mechanical Characteristics of Calcareous-Siliceous Products. Abstract of cand. sci. diss.]. Chelyabinsk, 1997. 124 p.
5. Grehov P.I., Zavodov S.V. [Improvement of the Bitumen Opacity Parameter with the Introduction of Modifying Additives of Natural Origin]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction and Architecture*, 2016, vol. 16, no. 4, pp. 33–37 (in Russ.).
6. GOST 22245–90\*. *Bitumy nefjanye dorozhnye vjazkie. Tehnicheskie uslovija* [Bitumens Petroleum Viscous for Road Building. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 1996.
7. GOST EN 12850–2013. *Mezhgosudarstvennyj standart. Bitumy i bituminoznye vjazhushhie. Opredelenie znachenija pH bitumnyh jemul'sij* [Interstate Standard. Bitumen and Bituminous Binders. Determination of Ph Value of Bitumen Emulsions]. Moscow, Standartinform Publ., 2014.
8. Zolotarev V.A. [Features of Bitumen Wetting of the Surface of Stone Materials]. *Izv. vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura* [News of High Schools. Construction and Architecture], 1991, no. 8, pp. 68–70 (in Russ.).
9. Kolbanovskaja A.S., Mihajlov V.V. *Dorozhnye bitumy* [Road Bitumen]. Moscow, Transport Publ., 1973. 264 p.
10. Kuchma M.I. [Surface-Active Agents in Road Building]. Moscow, Transport Publ., 1980, pp. 22–36 (in Russ.).
11. *Rukovodstvo po jekspluatacii pH-metra. g. Nizhnij Novgorod* [Operating Instructions pH Meter], 2008. 43 p.
12. *Tarifj na prirodnyj gaz* [Tariffs for Natural Gas]. Available at: <http://www.kurgangrc.ru> (accessed 20.03.2017).
13. *Tarifj na jelektroenergiju* [Tariffs for Electricity]. Available at: <http://energo-24.ru/tariffs/electro> (accessed 20.03.2017).

Received 9 September 2017

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Грехов, П.И. Исследование влияния введения модифицирующих добавок на физические и экономические показатели асфальтобетонов / П.И. Грехов, С.В. Заводов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 40–43. DOI: 10.14529/build170406

### FOR CITATION

Grekhov P.I., Zavodov S.V. The Study of Influence That Introduction of Modifying Additives Have on Physical and Economic Properties of Asphalt Concretes. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2017, vol. 17, no. 4, pp. 40–43. (in Russ.). DOI: 10.14529/build170406