



ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА СТОИМОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БИТУМНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

ГРЕХОВ Павел Иванович, Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева

Шкрабак Владимир Степанович, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

Рассмотрены стоимостные показатели битумных эмульсий с построением математической модели и проверкой ее адекватности. Приведены выводы, указывающие на какие параметры и как влияет модифицирующая добавка, вводимая в состав битумных эмульсий при строительстве асфальтобетонных дорожных покрытий.

Битумные эмульсии (БЭ) активно применяются при строительстве дорог с асфальтобетонным покрытием. Влияние БЭ на формирование физико-механических характеристик асфальтобетона, являющегося главным конструктивным элементом дорожных одежд, значительно. Качественные характеристики дорожных покрытий существенно влияют на обеспечение безопасности при эксплуатации дорожной сети и особенно в секторе агропромышленного комплекса. Это обстоятельство обеспечит бесперебойное снабжение горючесмазочными материалами, запасными частями, посевным материалом, удобрениями и т.д.

Производство любой высококачественной продукции всегда требует и повышенных финансовых затрат. Иногда достижение нормативных показателей в технической области требует таких финансовых затрат, что применение их по назначению становится нерентабельным. Поэтому без научного подхода и глубокого изучения рассматриваемого вопроса практически невозможно применение любых новинок даже при сохранении нормативных требований с обеспечением высоких значений по рентабельности. Таким образом финансовые затраты могут быть непреодолимым барьером для применения в дорожном строительстве любых инноваций. Следовательно, при проведении любых исследований, особенно в технической области, обязательным является проведение экономических расчетов с определением себестоимости единицы продукции с последующими эксплуатационными затратами.

В ходе научных исследований по модифи-

кации битумной эмульсии с помощью добавления битумно-солевой массы (БСМ) [2, 4], была проведена оценка экономического эффекта от применения добавки (табл. 1).

Расчет выполнен в ценах I квартала 2015 г. на основе данных, полученных из следующих источников: МУП «Специализированное дорожное предприятие, г. Курган»:

стоимость 1 т битума БНД 60/90 – 8474,58 руб. без НДС;

стоимость 1 м³ воды – 20,33 руб. без НДС на 20 мая 2015 г.;

стоимость 1 кг соляной кислоты – 38,08 руб. без НДС;

стоимость 1 кг эмульгатора Redicote EM44 – 258,06 руб. без НДС.

В результате стоимость приготовления составила 931,03 руб./т (основная заработная плата, эксплуатация машин, в т.ч. заработная плата машинистов, накладные расходы, сметная прибыль).

Стоимость доставки 1 т БСМ из г. Щучья (склад хранения) 90 руб./км битумовозом 27 т. Расстояние 150 км. Следовательно, $150 \cdot 90 / 27 = 500$ руб./км (при расчете стоимости в ценах I квартала 2015 г.), табл. 2.

В ценах IV квартала 2014 г., утвержденных Минстроем, коэффициент для «Прочие работы» строки 2 табл. 2 составил 5,98, коэффициент инфляции на январь 2015 г. составил 3,9 %.

Используя расчетные показатели табл. 1 и 2, можно провести систематизацию и обобщение их с применением методов математического моделирования с применением пакета прикладных программ «STATGRAPHICS 5.0». В результате чего имеем возмож-

Расчет стоимости изготовления 1 т стандартного состава битумной эмульсии без добавления БСМ

Наименование	Единица измерения	Количество	Стоимость единицы	Стоимость всего
Битум БНД 60/90	т	0,6	8474,58	5084,75
Эмульгатор Redicote EM44	кг	15	258,06	3870,9
Соляная кислота	кг	200	38,08	7616
Вода магистральная	м ³	0,185	20,33	3,76
Стоимость производства без НДС	руб./т	1	931,03	931,03
Итого без НДС				17506,44
НДС 18%				3151,16
Итого с НДС				20657,6

Таблица 2

**Плановая стоимость приготовления 1 т битумной эмульсии по МУП
«Специализированное дорожное предприятие» на 01.02.2015 г.**

№ п/п	Наименование работ	Сумма, руб.
	Федеральные единичные расценки 27-10-001-05 на 1 т.	
1	Основная заработная плата 8,52·5,98·1,039	52,94
2	Эксплуатация машин и механизмов 121,49·5,98·1,039, в т.ч. зарплата машиниста 8,58·5,98·1,039 = 53,31	754,84
3	Накладные расходы (66 %)	70,12
4	Сметная прибыль (50 %)	53,12
	Итого на 1 т	931,03

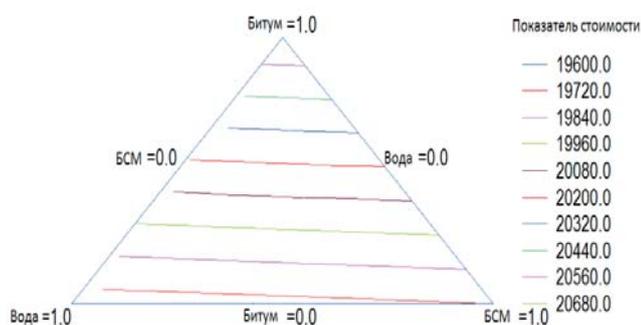


Рис. 1. Контуры линий равно уровня предполагаемой поверхности отклика стоимостных показателей БЭ при введении БСМ

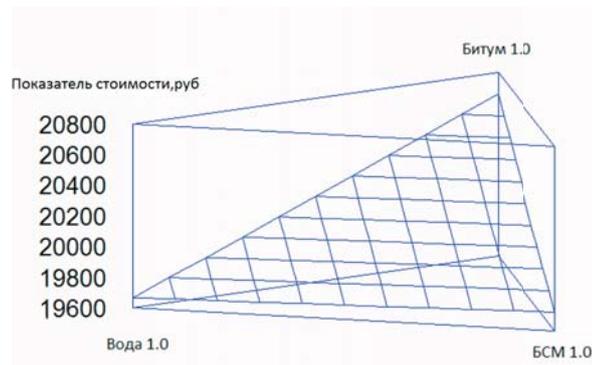


Рис. 2. Расчетная поверхность отклика стоимости БЭ при введении БСМ

ность получить поверхность отклика (плоскостную (рис. 1) и изометрическую (рис. 2)) и уравнение регрессии. Кроме того, важным этапом является проверка адекватности регрессионного уравнения при моделировании исследуемых процессов. Для этого производится проверка однородности дисперсий параметров оптимизации (табл. 3), что позволит определить критерий Кохрена, оценивающий разброс показателей при получении значений эксперимента в случае трехкратного (для нашего случая) повторения. Но основным критерием адекватности (подтверждением или отрицанием нулевой гипотезы) регрессионного уравнения является критерий Фишера – статистический показатель, отражающий отношение двух дисперсий и сравниваемый в последующем с табличными значениями. Факторами варьирования принимались основные компоненты БЭ, такие как битум (X_1), вода (X_2) и БСМ (X_3).

С целью оценки отклонений параметра оптимизации от его среднего значения для каждой строки матрицы планирования вычисляют дисперсию S_j^2 эксперимента по



Значения дисперсии параметров оптимизации матрицы составов БЭ при введении БСМ

№ эксперимента	Переменные факторы, количество в г.			Значения функции отклика при трехкратном повторении			Среднеарифметическое значение параметра оптимизации \bar{y}_j	Значения дисперсии S^2
	X_1	X_2	X_3	y_1	y_2	y_3		
1	600	400	0	19630,26	20663,43	21696,6	20663,43	1067441,8
2	500	500	0	18681,88	19665,16	20648,42	19665,16	966839,61
3	500	400	10	17835,66	19721,75	20707,84	19721,75	972373,49
4	533	400	66	19030,01	20031,69	21033,28	20031,69	1003182,53
5	566	400	33	19325,11	20342,22	21359,33	20342,22	1034512,75
6	566	433	0	19307,36	20323,54	21339,72	20323,54	1032621,74
7	533	466	0	18994,61	19994,33	20994,05	19994,33	999440,08
8	500	466	33	18699,61	19683,8	20667,99	19683,8	969629,95
9	500	433	66	18717,36	19702,48	20687,6	19702,48	970461,41
10	533	433	33	19012,3	20013,01	21013,71	20013,01	1001400,49
								$\Sigma S^2 =$ =10016905,41

данным $n = 3$ параллельных экспериментов по формуле

$$S_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{u=1}^n (y_{ju} - \bar{y}_j)^2, \quad (1)$$

где y_{ju} – значение одного параметра j -й строки оптимизации; \bar{y}_j – среднее значение параметра оптимизации.

При равномерном дублировании экспериментов однородность ряда дисперсий проверяют с помощью G -критерия Кохрена, представляющего собой отношение максимальной дисперсии к сумме всех дисперсий:

$$G_p = \frac{S_{\max}^2}{(S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_{10}^2) \frac{1}{n-1}} = \frac{S_{\max}^2}{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n S_j^2}, \quad (2)$$

где G_p – расчетное значение критерия Кохрена; S_{\max}^2 – максимальное значение дисперсии; S_j^2 – значение дисперсии j -й строки при трехкратном повторении эксперимента; n – количество экспериментов в строке.

При подстановке полученных значений по табл. 3 в уравнение (2) получаем:

$$G_p = \frac{1067441,8}{5008452,205} = 0,214.$$

Дисперсии однородны, если расчетное значение G_p -критерия не превышает табличного

значения G_T -критерия [3], при соответствующих степенях свободы. Таким образом, $G_T = 0,445$ при 5%-м уровне значимости, и соответственно отношение критериев будет выглядеть как $G_p = 0,214 \leq G_T = 0,445$. Условие выполняется, следовательно, дисперсии однородны.

При проверке адекватности необходимо определить критерий Фишера через отношение дисперсий параметров, приведенных в табл. 4. Но при рассмотрении влияния факторов на отклик необходимо учесть, что результирующие значения уравнения (3) должны быть минимизированы. Минимизация объясняется тем, что отклик является экономическим показателем, а следовательно, стоимость БЭ должна быть как можно ниже.

Вычисление теоретических значений параметра оптимизации и адекватности для полученного уравнения регрессии (3) определяем по значениям табл. 4 и формуле (4). По полученным коэффициентам регрессии получаем математическую модель зависимости стоимости БЭ от количественного содержания компонентов (битум, вода, БСМ):

$$\hat{y} = 20662,4X_1 + 19665,7X_2 + 19722,2X_3 - 23,0977X_1X_2 - 24,1584X_1X_3 - 3,63899X_2X_3 + 51,4354X_1X_2X_3. \quad (3)$$



Проверка адекватности двух дисперсий стоимостных показателей БЭ

№ Строка матрицы экспери- мента	Переменные факторы в кодах матрицы			Среднеарифмети- ческое значение параметра оптимизации \bar{y}	Теоретическое значение параметра оптимизации \hat{y}	Дисперсия адекватности $S_{ад}^2$
	X_1 битум	X_2 вода	X_3 БСМ			
1	1	0	0	20663,43	20662,4	1,0609
2	0	1	0	19665,16	19665,7	0,2916
3	0	0	1	19721,75	19722,2	0,2025
4	1/3	0	2/3	20031,69	20030,21	2,1904
5	2/3	0	1/3	20342,22	20343,61	1,93
6	2/3	1/3	0	20323,54	20325,01	2,161
7	1/3	2/3	0	19994,33	19992,78	2,4025
8	0	2/3	1/3	19683,8	19683,7	0,01
9	0	1/3	2/3	19702,48	19702,54	0,0036
10	1/3	1/3	1/3	20013,01	20011,09	3,6864
						$\sum S_{ад}^2 =$ $= 13,9389$

Расчет дисперсии адекватности производится по формуле

$$S_{ад}^2 = (\bar{y}_j - \hat{y}_j)^2, \quad (4)$$

где \bar{y} – среднеарифметическое значение параметра оптимизации; \hat{y} – теоретическое значение параметра оптимизации.

Проверку адекватности модели по критерию Фишера проводят по формуле

$$F_p = \frac{\sum_{j=1}^n S^2}{\frac{1}{N-d} \sum_{j=1}^n n S_{ад}^2}, \quad (5)$$

где N – число опытов; d – количество значимых коэффициентов регрессии.

Подставив расчетные значения дисперсий

в формулу (5), получим расчетное значение критерия Фишера:

$$F_p = \frac{13,9389}{500845,22} = 2,75 \cdot 10^{-5}.$$

Значение F_p -критерия Фишера при 5%-м уровне значимости определяют по таблице [3] при соответствующих степенях свободы и принимают $F_T = 3,10$. Поэтому получается соотношение: $F_p = 2,75 \cdot 10^{-5} \leq F_T = 3,10$. Условие выполняется, следовательно, математическая модель (3) адекватна.

Для возможности приготовления битумной эмульсии с добавлением БСМ необходима модернизация эмульсионной установки.

Расчет эффективности дополнительных капитальных вложений [5]:



$$\Delta_c = \frac{C_1 - C_2}{K_2 - K_1} = \frac{\Delta C}{\Delta K}; \quad (6)$$

где C_1 – себестоимость стандартного образца; C_2 – себестоимость образца с БСМ; K_1 – капиталовложения при приготовлении стандартного образца; K_2 – капиталовложения при приготовлении образца с БСМ.

По данным МУП «Специализированное дорожное предприятие» (г. Курган) годовой объем производства составляет 550 т. Поэтому используя формулу (6), соответственно при максимальной (974,3 руб./т) и минимальной (334,06 руб./т) разнице в стоимости БЭ, получим:

$$\Delta_{c_{\max}} = \frac{C_1 - C_2}{K_2 - K_1} = \frac{\Delta C}{\Delta K} = \frac{974,3 \cdot 550}{10000} = 53,6 \text{ руб./руб.};$$

$$\Delta_{c_{\min}} = \frac{C_1 - C_2}{K_1 - K_2} = \frac{\Delta C}{\Delta K} = \frac{550 \cdot 334,06}{10000} = 18,37 \text{ руб./руб.}$$

От модернизации эмульсионной установки получаем экономический эффект от 18,37 до 53,6 руб. на 1 руб. модернизации установки.

Благодаря использованию БСМ при производстве битумной эмульсии достигаются следующие результаты:

снижается себестоимость единицы продукции в интервале 334,06–974,3 руб./т в процессе производства, что позволяет снизить расход битума;

в составах с добавлением БСМ наблюдается повышенная обволакиваемость минеральных частиц битумом [4], вследствие чего улучшаются прочностные характеристики дорожного полотна. Можно предположить, что добавление БСМ при производстве битумных эмульсий позволит увеличить периодичность ремонтных работ и, как следствие, снизить затраты на него;

обеспечить невысокие затраты на модернизацию производственной установки при введении в состав битумной эмульсии БСМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грехов П.И. Влияние модифицирующей добавки на укрывистость битумной эмульсии // Вестник Курганской ГСХА. – 2016. – № 1.

2. Грехов П.И., Шкрабак В.С. Асфальтобетонная смесь. Патент на изобретение №2579128. Заявка №2014111597. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 02 марта 2016.

3. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. – М.: Наука, 1976. – 390 с.

4. Шкрабак В.С., Грехов П.И. Анализ степени опасности при производстве материалов для дорожных покрытий путём улучшения (модификации) их отходами техногенного происхождения // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2012. – № 2. – Режим доступа: <http://www.sgau.ru>.

5. Экономика строительства: учебник / под общей редакцией И. С. Степанова – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Юрайт-Издат, 2007. – 620 с.

Грехов Павел Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленного и гражданского строительства», Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева. Россия.

641300, Курганская обл., Кетовский р-н, с. Лесниково, зд. АТС, кв.2.

Тел.: (835231) 4-48-81.

Шкрабак Владимир Степанович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Безопасность технологических процессов и производств», Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Россия.

196601, г. Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе, 2.

Тел.: (812) 451-76-18.

Ключевые слова: битумная эмульсия; модифицирующие добавки; стоимость.

INFLUENCE OF MODIFYING ADDITIVES ON THE COST CHARACTERISTICS OF BITUMEN EMULSIONS

Grehov Pavel Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Industrial and Civil Construction", Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev. Russia.

Shkrabak Vladimir Stepanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair "Safety of Technological Processes and Production", St. Petersburg State Agrarian University. Russia.

Keywords: bitumen emulsion; modifying additives; value.

They are regarded values of BE with constructing mathematical models and the verification of its adequacy. These findings indicate which parameters and their influence on the introduction of the MA input in the composition of the BE during the construction of asphalt pavements.

