

УДК 625.855.3

ПОДБОР РЕЦЕПТУРЫ БИТУМНОГО ВЯЖУЩЕГО С ДОБАВКОЙ КРОВЕЛЬНОЙ КРОШКИ И ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Асадуллина З. У., Яковлев В. В.

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа
e-mail: gossu@list.ru

Аннотация. Рассмотрено влияние температуры на процесс соединения битума с минеральным наполнителем в технологии приготовления битумо-минеральных композиций. Был спланирован и проведен двухфакторный эксперимент, задачей которого было подобрать оптимальное количество кровельной крошки в вяжущем и температуру приготовления асфальтобетонной смеси. Были получены зависимости свойств асфальтобетона от исследуемых факторов и построены графики.

Ключевые слова: асфальтобетон, битумное вяжущее, двухфакторный эксперимент, кровельные отходы, утилизация.

Одним из основных в технологии битумо-минеральных композиций является процесс соединения битума с минеральным наполнителем при повышенных температурах. Согласно ГОСТ 9128-2009, асфальтобетонные смеси на вязких дорожных битумах перемешивают при температурах 140-160 °С в зависимости от вязкости битума. Основным при перемешивании является равномерное и полное покрытие битумом частиц минерального материала, причем перемешивание при низких температурах приводит к недостаточному покрытию битумом поверхности наполнителя, что обуславливает снижение прочности и водостойчивости битумо-минеральных композиций. Перемешивание минерального наполнителя с битумом будет протекать тем быстрее и эффективнее, чем ниже вязкость и поверхностное натяжение битума, чем выше сродство взаимодействующих поверхностей по полярности, чем меньше шероховатость пористого материала. Снижение вязкости и поверхностного натяжения битума всегда происходит при повышении его температуры, но это вызывает ускоренное окисление, которое особенно усугубляется в связи с пребыванием битума при перемешивании с каменным материалом в пленочном состоянии (толщиной ~ 30 мкм), и в конечном итоге получение композиций с низкой коррозионной стойкостью и трещиностойкостью [1]. Назначение температуры перемешивания должно быть компромиссным, т.е. необходимо учитывать противоположное влияние каждого

фактора. Важно выбрать такие температуры, которые были бы чувствительными к комплексному воздействию этих факторов, влияющих на перемешиваемость битумоминеральных смесей и их качество, но в то же время достаточно объективно характеризовали пригодность минеральной смеси. Удовлетворяющими этим требованиям, по нашему мнению, могут быть непосредственные показатели трещино-, тепло- и водостойкости асфальтобетона. Было бы легко установить оптимальную температуру перемешивания битума и минерального наполнителя, если бы зависимость какого-либо показателя битумоминеральной композиции от температуры перемешивания была бы экстремальной.

Из работ [1] следует, что прочность при сжатии и водостойкость битумоминеральных композиций по мере повышения температуры перемешивания битумоминеральных смесей монотонно возрастает до некоторого предела. Далее прочность при сжатии битумоминеральных композиций, достигнув максимума, будет понижаться. Это понижение прочности при сжатии наступит при таких температурах перемешивания, когда битум переходит в твердое состояние, постепенно превращаясь в кокс.

Ранее предприятием «ЕВРОКОМДОРМАШ» было исследовано применение кровельной крошки в качестве добавки в асфальтобетонные смеси [2]. Однако только добавление кровельной крошки без пластификатора для вторичного битума возможно временно улучшит качественные показатели асфальтобетона, но при этом увеличит скорость старения битума.

Из многих возможных путей поиска оптимальных условий является метод эволюционного планирования [3], позволяющий получить информацию о производственном процессе, которая немедленно используется без ухудшения показателей и уменьшения производительности. На практике оказалось удобным изучать влияние на отклик процесса одновременно не более трех переменных, так как в этом случае результат можно представить графически.

Ранее было исследовано использование в качестве вяжущего для асфальтобетонных смесей вторичного битума из отходов ремонта мягких кровель, пластифицированных прямогонным гудроном. Асфальтобетон на вяжущем, полученном из битумосодержащих отходов, удовлетворяет требованиям ГОСТ 9128-2009 по показателям водонасыщения, прочности при 20°C и при 50°C, а также коэффициенту водостойкости. [4].

Совместно с Управлением Дорожного хозяйства РБ (УДХ РБ) была разработана схема компаундирования гудрона и вторичного битума кровельной крошки одновременно со смешением минеральных составляющих асфальтобетонной смеси. Выбор необходимого соотношения стандартного битума и битумного вяжущего, а также особенности технологии приготовления определялись с помощью двухфакторного эксперимента.

С целью определения оптимального состава и его влияния на основные свойства получаемого асфальтобетона был спланирован двухфакторный эксперимент. В качестве варьируемых факторов были выбраны: «X₁» –

относительное содержание кровельной крошки и гудрона в битумном вяжущем, % (20, 40, 60 %), « X_2 » – температура перемешивания, °С (150, 165, 180). Откликами « y » были приняты « Y_1 » - водонасыщение (В),%; « Y_2 » - предел прочности при сжатии при 0°С (R_0), МПа; « Y_3 » – предел прочности при сжатии при 20°С (R_{20}), МПа « Y_4 » – предел прочности при сжатии при 50°С (R_{50}), МПа; « Y_5 » – сдвигоустойчивость (СЛ), МПа; « Y_6 » – предел прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С (R_p), МПа.

Задача эксперимента - подобрать оптимальное количество кровельной крошки в вяжущем и температуру приготовления асфальтобетонной смеси. Объект исследования можно представить следующей схемой (рисунок 1)

Переменные X_1, X_2, \dots, X_n называют входными независимыми переменными (факторами), переменные Y_1, Y_2, \dots, Y_m – функциями отклика или функциями оптимизации. Математическая модель – уравнение регрессии с ограничениями, накладываемые на варьируемые факторы X_i , когда $i = 1, 2, \dots, n$.



Рисунок 1. Схема объекта исследования

В нашем случае используем модель в виде полинома 2-й степени:

$$Y = \sum_{j=0}^n B_j X_j + \sum_{i+j=1} B_{ij} X_i X_j + \sum_{j=1}^n B_{jj} X_j^2 \quad (1)$$

где n - количество факторов; B_j, B_{ij}, B_{jj} - коэффициенты модели.

Для проведения эксперимента отходы ремонта кровельных ковров измельчались до размеров 2-5 мм, смешивались с нагретыми до 165 –185 °С минеральными материалами в течение определенного промежутка времени, затем добавлялся гудрон в заданном соотношении. При этом соотношение прямогонного гудрона и кровельной крошки остается постоянным, меняется лишь общее содержание кровельной крошки и гудрона в вяжущем. Полученные образцы выдерживают в течение суток, затем испытывают для определения основных показателей асфальтобетона (таблица 1).

Таблица 1. Матрица планирования двухфакторного эксперимента и результаты опытов

№ опыта	Значение исследуемых факторов							
	Факторы		Величины					
	X ₁	X ₂	B	R ₀	R ₂₀	R ₅₀	СЛ	R _p
1	20	150	4.0	6.2	3.2	1	0,16	3,1
2	60	150	8.8	4.3	2.9	0.7	0,26	1,8
3	20	180	4,2	7,7	4,2	1,75	0,48	3,5
4	60	180	7,3	10	4	3,3	0,44	3,1
5	40	165	5,2	8,2	4,35	1,2	0,3	2,1
6	60	165	7,4	9,3	3,2	1,45	0,35	2,4
7	20	165	5	7	3,55	0,9	0,23	2,8
8	40	180	4,8	8,85	4,55	2,45	0,46	2,8
9	40	150	5.1	4.3	2.4	0.7	0,26	2,2

По данным эксперимента были построены графики (рисунки 2-7). На рисунках под буквой «а)» приводятся зависимости показателей асфальтобетона от относительного содержания кровельной крошки и гудрона в битумном вяжущем; «б)» - зависимости от температуры приготовления смеси

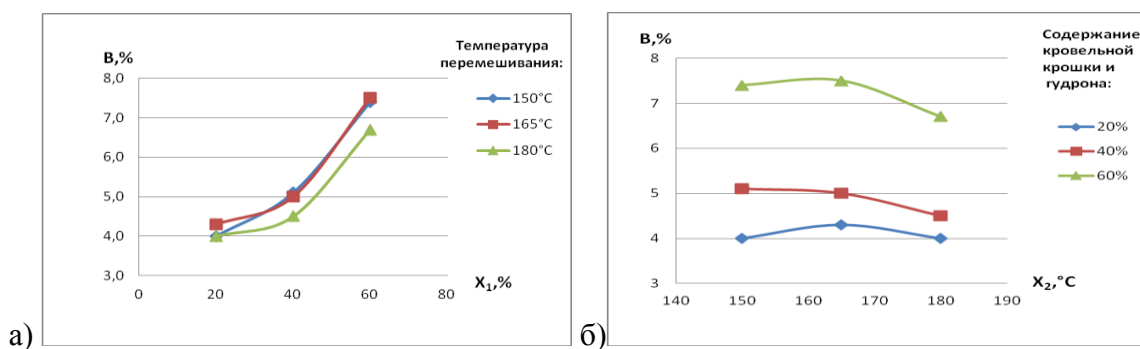


Рисунок 2. Изменение водонасыщения асфальтобетона

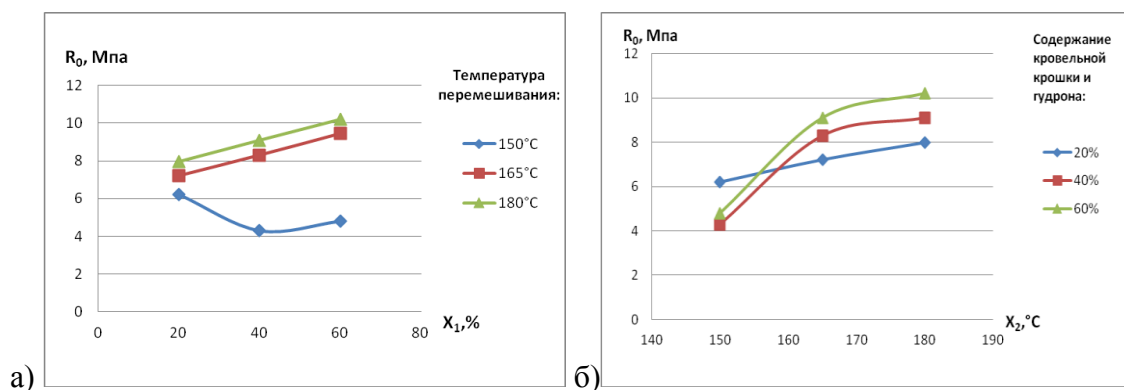


Рисунок 3. Изменение прочности асфальтобетона при сжатии при 0°С

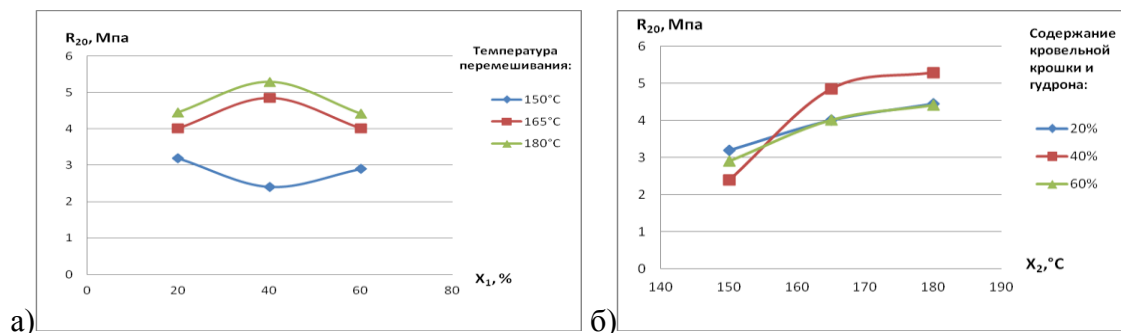


Рисунок 4. Изменение прочности асфальтобетона при сжатии при 20°C

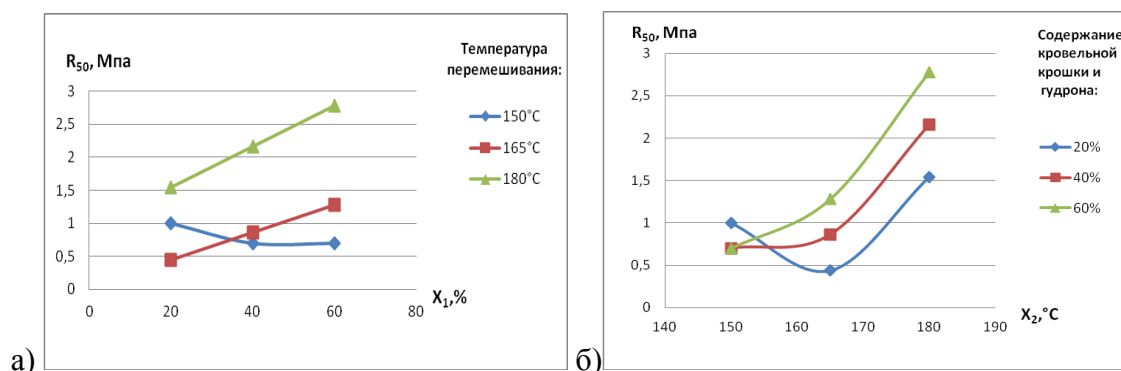


Рисунок 5. Изменение прочности асфальтобетона при сжатии при 50°C

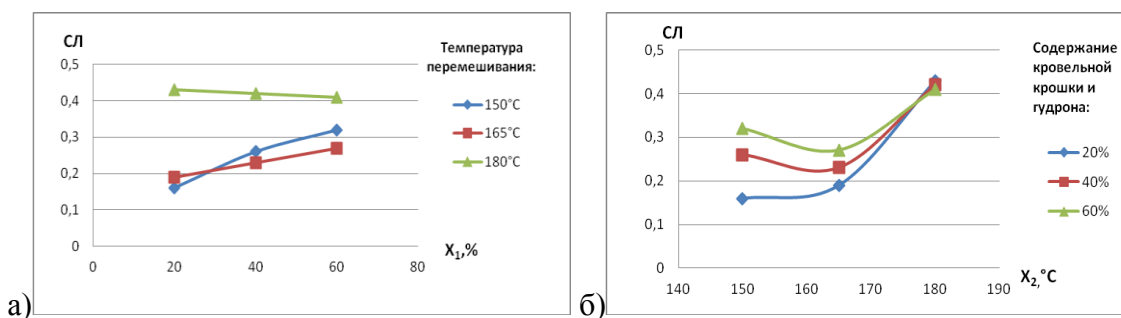


Рисунок 6. Изменение показателей сдвигоустойчивости асфальтобетона

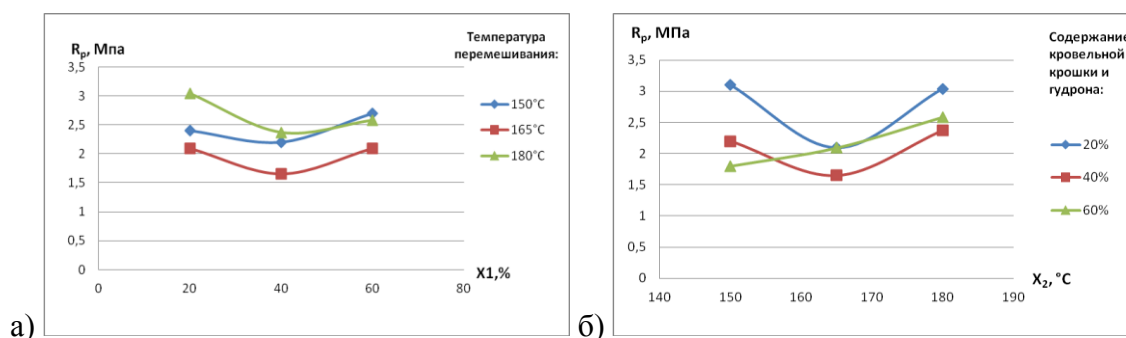


Рисунок 7. Изменение прочности асфальтобетона на растяжение при расколе при температуре 0 °С

Из приведенных результатов, можно сделать вывод о нехарактерных зависимостях асфальтобетона при температуре 150°C. Это можно объяснить тем, что при данной температуре кровельная крошка медленно растворяется, следовательно, плохо объединяется с гудроном и битумом, и не эффективно работает как вяжущее. Показатель водонасыщения зависит от замены вяжущего на кровельную крошку, пластифицированную прямогонным гудроном, и практически не зависит от температуры перемешивания. Показатели прочности при сжатии при 0 °С и при 20°C, 50°C, сдвигоустойчивости удовлетворяют требованиям ГОСТ 9128-2009, даже превосходят при относительном содержании кровельной крошки и гудрона в битумном вяжущем от 20-40% и температуре свыше 150 °С. Показатель прочности при растяжении удовлетворяет ГОСТ 9128-2009 при температуре 180°C.

Были получены следующие зависимости свойств асфальтобетона от исследуемых факторов:

$$B = 5,35 + 1,58X_1 - 0,13X_2 + 0,86X_1^2 - 0,39X_2^2 - 0,23X_1X_2;$$

$$R_0 = 8,32 + 1,13X_1 + 0,792X_2;$$

$$R_{20} = 4,29 + 0,44X_2 - 0,84X_1^2;$$

$$R_{50} = 1,19 + 0,42X_1 + 0,8X_2 + 0,5X_2^2 + 0,2X_1X_2;$$

$$СЛ = 0,28 + 0,04X_1 + 0,11X_2 + 0,08X_2^2 - 0,05X_1X_2;$$

$$R_p = 2,17 + 0,38X_2 + 0,44X_1^2 + 0,34X_2^2 - 0,23X_1X_2.$$

Поскольку на физико-механические показатели асфальтобетона большое влияние оказывает состав и качество минеральных составляющих, необходимо оценить прочностные показатели при одинаковом зерновом составе минеральной части асфальтобетона минеральной части на стандартном битуме и битумном вяжущем из отходов. Были изготовлены две серии образцов мелкозернистого асфальтобетона типа Б марки III. Минеральная часть асфальтобетонных смесей была одинакова. Для первой серии (контрольной) использовался битум БНД90/130 по ГОСТ 9128-2009. Для второй серии (опытной) вяжущее было приготовлено из битумного порошка, полученного из отходов рулонных кровельных ковров. Были получены следующие составы смесей (таблица 2).

Таблица 2. Составы асфальтобетонных смесей

Материал	Количество, % для смеси		
	Контрольная	Опытная	
		1 состав	2 состав
Щебень, фр. 5 - 20	30	30	30
Отсев 0-5 (карьер №1)	54	54	54
Отсев 0-5(карьер №2)	16	16	16
Битум БНД 90/130	5	4	3
Прямогонный гудрон	-	0,4	0,8
Измельченный рубероид	-	0,768	1,536

Примечание: несколько меньшая масса материалов в контрольной смеси 105 против 105, 168 (1 состав) и 105,336 (2 состав) единиц объясняется наличием в опытном составе волокон целлюлозы.

Вязущее в опытной смеси состояло из стандартного битума, измельченных отходов кровельных материалов и гудрона. Наиболее оптимальное соотношение гудрона и крошки составляет 60 процентов гудрона и 40 процентов измельченного рубероида. Результаты испытаний представлены в таблице 3.

Таблица 3. Свойства асфальтобетона тип Б, м. III на обычном вязущем и на вязущем из отходов ремонта мягких кровель

Наименование показателя	Ед. изм.	Величина показателей для асфальтобетона на вязущем			Требования ГОСТ
		БНД 90/130	1 состав	2 состав	
1. Средняя плотность	г/см ³	2,42	2,37	2,41	-
2. Водонасыщение	%	2,5	5,0	5,2	1,5...4,0
3. Предел прочности на сжатие при:					
0°С		11,7	7,0	8,2	не более 12
20°С	МПа	3,0	3,55	4,35	не менее 2,0
50°С		1,2	0,9	1,2	не менее 0,9
4. Предел прочности на растяжение при расколе	МПа	3,8	2,8	2,1	От 3 до 6,5
5. Коэффициент водостойкости		0,92	0,65	0,67	не менее 0,85
6. Коэффициент внутреннего трения		0,97	0,98	0,97	Не менее 0,81
7. Сцепление при сдвиге	МПа	0,26	0,23	0,3	Не менее 0,35

Из анализа полученных данных (таблица 3) следует, что асфальтобетон на вяжущем, полученном из битумосодержащих отходов, удовлетворяет требованиям стандарта для асфальтобетона типа Б марки III по показателям прочности при 0°С, 20°С и при 50°С. По сравнению с асфальтобетоном на стандартном битуме показатели водонасыщения и коэффициента водостойкости, прочности на растяжение при расколе опытного асфальтобетона не удовлетворяют ГОСТ 9128-2009.

Вывод

Таким образом, проведенные исследования механических свойств асфальтобетонных смесей с добавкой кровельной крошки в битумное вяжущее позволили разработать оптимальные составы для устройства верхних слоев покрытий автомобильных дорог: необходимо применять битумное вяжущее с содержанием кровельной крошки 40-60%, температура приготовления асфальтобетонной смеси - 165°С.

Литература

1. Гезенцев Л.Б. Дорожный асфальтобетон. М.: Транспорт, 1976. 334 с.
2. Асфальтобетонная смесь: заявка 2010110798 Рос. Федерация. № 2010110798/03, заявл. 22.03.2010; опубл. 27.09.2011//Б.И. 2011. № 27. 1с.
3. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. 340с.
4. Асадуллина З.У., Яковлев В.В. Механизм старения и пластификации вторичного битума гудроном // Строительные материалы. 2012. №1. С.51-53.

**SELECTION OF RECIPE OF BITUMEN BINDER WITH ADDITION OF
ROOFING CRUMB AND FEATURES OF THE TECHNOLOGY MAKING
ASPHALT MIXTURES**

Z. U. Asadullina, V. V. Yakovlev
FSBEI Ufa state petroleum technical university, Ufa
e-mail: gossu@list.ru

Abstract. The influence of the temperature on the process of the connection of bitumen with mineral filler in the technology for preparation of asphalt mixtures is considered. Two-factor experiment was planned and carried out, whose task was to select the optimum number of roofing crumb in the binder and the temperature of the preparation of road concrete mix. Dependences of properties of asphalt concrete from the studied factors were obtained and plotted.

Keywords: asphalt concrete, bitumen, two-factor experiment, roofing waste, recycling

References

1. Gezentsvey L.B. Road asphalt concrete. Moscow: Transport, 1976. 334 p.
2. Asphalt concrete mixture: application № 2010110798 of Russian Federation. №2010110798/03, appl.: 22.03.2010; publ.: 27.09.2011//Bul. 2011. № 27. 1p.
3. Nalimov V.V., Chernova N.A. Statistical methods for planning of extreme experiments. - Moscow: Nauka, 1965. 340 p.
4. Asadullina Z.U., Yakovlev V.V. Investigation of aging and plasticization of the bitumen which is turning out from waste with straight-tar // Building Materials. 2012. № 1. pp. 51-53.

Сведения об авторах

Асадуллина З. У., аспирант, ассистент кафедры «Автомобильные дороги и технология строительного производства» ФГБОУ ВПО УГНТУ.

Z. U. Asadullina, post-graduate student, assistant of department «Highways and technology of building production» of FSBEI USPTU.

Яковлев В.В., д-р техн. наук проф. кафедры «Автомобильные дороги и технология строительного производства», ФГБОУ ВПО УГНТУ.

V. V. Yakovlev, dr of tech. sci., prof. of department «Highways and technology of building production» of FSBEI USPTU

e-mail: gossu@list.ru