

Войтович Елена Валерьевна (Россия Белгород) – кандидат технических наук, младший научный сотрудник кафедры Материаловедения и технологии материалов БГТУ им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова 46, e-mail: e.voitovich@mail.ru).

Чулкова Ирина Львовна (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные материалы и специальные технологии» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: chulkova_il@sibadi.org).

Фомина Екатерина Викторовна (Россия Белгород) – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры Строительного материаловедения изделий и конструкций БГТУ им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова 46, e-mail: fomina.katerina@mail.ru).

Череватова Алла Васильевна (Россия Белгород) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Материаловедения и технологии материалов БГТУ им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова 46, e-mail: chery_611@mail.ru).

Voitovich Elena Valerievna (Russian Federation, Belgorod) – candidate technical sciences, in junior researcher of chair Materials science and technology of materials BGTU of V.G. Shukhov (308012, Mr. Belgorod, Kostyukov St. 46, e-mail: fomina.katerina@mail.ru).

Chulkova Irina Lvovna (Russia, Omsk) – doctor of technical sciences, professor, head of the department "Construction materials and special technologies" of The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, 5 Mira st., e-mail: e-mails: chulkova_il@sibadi.org).

Fomina Ekaterina Viktorovna (Russian Federation, Belgorod) – candidate of technical sciences, the associate professor, the senior research associate of department of Construction materials science of products and designs of BGTU of V.G. Shukhov (308012, Belgorod, Kostyukov St. 46, e-mail: fomina.katerina@mail.ru).

Cherevatova Alla Vasilievna Russian Federation, Belgorod) – doctor of technical sciences, professor chair Materials science and technology of materials BGTU of V.G. Shukhov (308012, Belgorod, Kostyukov St. 46, e-mail: cherry_611@mail.ru).

УДК 625.7.06: 691.16

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВОВ И СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ МЕТОДОМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В.Д. Галдина, М.С. Черногородова
ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. С применением метода математического планирования эксперимента получены математические модели технологических и эксплуатационных свойств полимерно-битумных вяжущих на основе вязкого дорожного битума, полимера типа стирол-бутадиен-стирол и пластификатора, позволяющие оптимизировать составы и прогнозировать свойства вяжущих. Планирование эксперимента значительно сокращает процедуру подбора составов полимерно-битумных вяжущих с требуемым комплексом физико-механических свойств.

Ключевые слова: битум, планирование эксперимента, полимерно-битумное вяжущее, уравнения регрессии.

Введение

Модифицирование битумов полимерными добавками с целью повышения долговечности дорожных асфальтобетонных покрытий является перспективным и развиваемым направлением за рубежом и в России. В качестве модифицирующих добавок для дорожных битумов преимущественно используют блок-сополимеры типа стирол-бутадиен-стирол (СБС). Макромолекулы указанных полимеров характеризуются склонностью к ассоциации, что позволяет при определенном содержании образовывать пространственную структурную сетку в полимерно-битумном вяжущем (ПБВ).

По сравнению с исходным битумом ПБВ характеризуются высокой прочностью, эластичностью, теплоустойчивостью и трещиностойкостью [1,2,3,4,5,6].

ФГУП СоюздорНИИ разработаны составы, технология приготовления ПБВ на основе полимера СБС и нормативно-технические документы. Полимерно-битумные вяжущие рекомендовано получать смешением при температуре 150 – 160 °С вязкого дорожного битума, пластифицированного пластификатором, и полимера типа СБС либо путем смешения битума с раствором полимера типа СБС в пластификаторе. Свойства ПБВ зави-

сят от марки и структурного типа битума, молекулярной массы и размера частиц полимера, количества полимера и пластификатора, технологических режимов и используемого смесительного оборудования [1,4,5,6].

Для обеспечения равновесного состояния системы при подборе составов ПБВ следует назначать минимальные содержания полимера и пластификатора при соответствии температур хрупкости, размягчения и показателей эластичности конкретным климатическим условиям эксплуатации [4,5]. Процесс экспериментального определения состава ПБВ достаточно длительный и трудоемкий. Он включает определение: 1) технических свойств вязкого дорожного битума в соответствии с ГОСТ 22245; 2) требуемых для конкретного района строительства и условий эксплуатации значений температур хрупкости, размягчения и показателей эластичности; 3) минимального содержания пластификатора в зависимости от требуемой температуры хрупкости; 4) минимального содержания полимера СБС в зависимости от требуемых температур размягчения и эластичности; 5) свойств ПБВ по ГОСТ Р 52056 при минимальном содержании полимера. При несоответствии свойств ПБВ требованиям стандарта необходимо провести корректировку состава путем приготовления нескольких составов с увеличенным содержанием полимера на 0,5 – 3,0 % с шагом 0,5 %.

Значительно сократить процесс подбора и оптимизировать составы ПБВ с заданным комплексом эксплуатационных свойств позволяют методы математического планирования эксперимента [7].

Постановка и решение задачи

Цель работы: с использованием метода планирования эксперимента получить урав-

нения регрессии, отражающие зависимость свойств полимерно-битумных вяжущих от содержания полимера СБС и пластификатора. Полимерно-битумные вяжущие получали на основе вязкого дорожного битума марки БНД 60/90, пластификатора – индустриального масла марки И-40А, выпускаемых ОАО «Газпромнефть ОНПЗ», и полимера марки ДСТ-30-01, производимого ОАО «Воронежсинтезкаучук». Приготовление ПБВ осуществляли в лабораторной установке с пропеллерной мешалкой и регулируемой системой обогрева при температуре 150 – 160 °С введением в битум раствора полимера ДСТ-30-01 в индустриальном масле. Количество полимера в ПБВ изменялось от 0 до 5 мас. %, содержание пластификатора – от 0 до 20 мас. %.

Значения основных независимых факторов на различных уровнях даны в таблице 1. За функции отклика были приняты следующие показатели свойств вяжущих: глубина проникания иглы (пенетрация) при температурах 25 и 0°С (P_{25} и P_0 соответственно); температура размягчения (T_p); температура хрупкости (T_{xp}); растяжимость (дуктильность) при температурах 25 и 0°С (D_{25} и D_0 соответственно). Матрица планирования композиционного симметричного ортогонального трехуровневого плана второго порядка [8] и результаты экспериментов по определению основных эксплуатационных свойств ПБВ – температур размягчения и хрупкости приведены в таблице 2. Статистическая обработка результатов эксперимента и определение коэффициентов уравнений регрессии производились с помощью пакета программ *Maple*. В результате исследований были получены уравнения регрессии, которые в натуральных значениях факторов имеют следующий вид:

$$P_{25} = 73,5310 + 28,1250 \cdot P - 8,1451 \cdot P^2 + 7,8667 \cdot M - 0,1950 \cdot M^2 + 0,9000 \cdot P \cdot M; \quad (1)$$

$$P_0 = 21,6040 + 21,5180 \cdot P - 4,5502 \cdot P^2 + 3,0917 \cdot M - 0,0450 \cdot M^2 + 0,5300 \cdot P \cdot M; \quad (2)$$

$$T_p = 46,9550 - 0,62467 \cdot P + 1,0183 \cdot P^2 - 0,7500 \cdot M + 0,02333 \cdot M^2 + 0,0200 \cdot P \cdot M; \quad (3)$$

$$T_{xp} = -15,865 - 5,8918 \cdot P + 1,450 \cdot P^2 - 1,0917 \cdot M + 0,036667 \cdot M^2 - 0,11 \cdot P \cdot M; \quad (4)$$

$$D_{25} = 81,487 - 32,102 \cdot P + 4,3937 \cdot P^2 + 9,13333 \cdot M + 0,0150 \cdot M^2 + 0,1000 \cdot P \cdot M; \quad (5)$$

$$D_0 = 3,3343 + 4,2644 \cdot P - 0,31954 \cdot P^2 + 2,1000 \cdot M - 0,0900 \cdot M^2 + 0,4800 \cdot P \cdot M. \quad (6)$$

Таблица 1 – Факторы, уровни факторов и интервалы их варьирования

Факторы	Кодированное значение	Уровни факторов			Интервал варьирования
		-1	0	+1	
Полимер (P), %	x	0	2,5	5	2,5
Пластификатор (M), %	y	0	10	20	10

Таблица 2 – Матрица планирования и результаты эксперимента

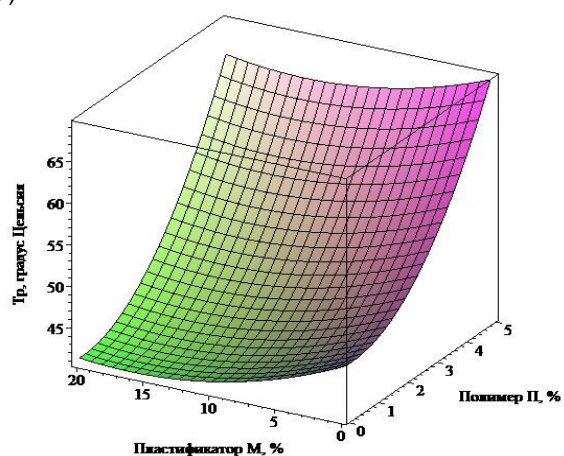
Номер опыта	Порядок проведения опытов	Факторы		Температура размягчения, °С	Температура хрупкости, °С
		х	у		
1	9	–	–	47	–19
2	3	+	–	66	–19
3	7	–	+	26	–36
4	5	+	+	66	–37
5	1	–	0	38	–21
6	4	+	0	68	–29
7	9	0	–	55	–18
8	2	0	+	43	–39
9	6	0	0	48	–36

Полученные адекватные модели технологических и эксплуатационных свойств ПБВ позволяют учесть тенденцию влияния каждого фактора и проследить качественную картину изменения функций отклика. Анализ моделей показывает, что на изменение показателей свойств влияет содержание полимера, пластификатора и совместное действие этих факторов, что выражается в значимости коэффициентов в уравнениях регрессии при P , M , P^2 , M^2 и $P \cdot M$. Так, например, наибольшее влияние на показатели пенетрации оказывают содержание полимера и пластификатора. На повышение температуры размягчения в большей степени влияет содержание полимера, на повышение дуктильности при 0°C – содержание полимера и пластификатора. Температура хрупкости понижается при увеличении содержания пластификатора и полимера. Дуктильность при 25°C понижается при увеличении количества полимера и повышается при увеличении содержания пластификатора.

На рисунках 1 и 2 в качестве примера показаны графические зависимости изменения температуры размягчения, температуры хрупкости, пенетрации и растяжимости при температуре 0°C от содержания в ПБВ полимера и пластификатора.

Полимерно-битумные вяжущие по сравнению со свойствами исходного битума характеризуются повышенными температурами перехода в вязко-текучее состояние, более низкими температурами перехода в хрупкое состояние, высокой пластичностью и эластичностью при температуре 0°C , что обуславливает более широкий диапазон температур, в которых ПБВ сохраняет работоспособность.

а)



б)

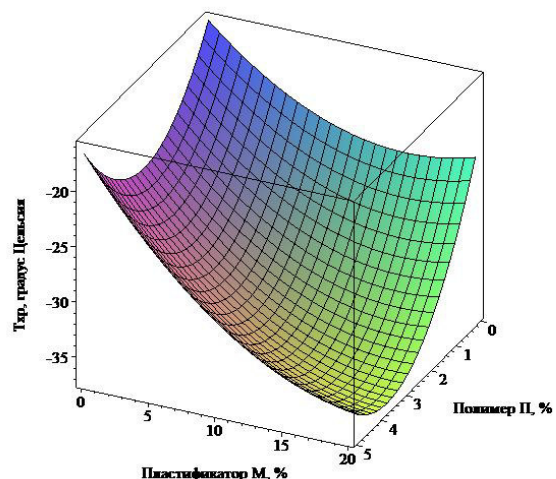


Рис. 1. Зависимость температур размягчения (а) и хрупкости (б) от содержания в полимерно-битумном вяжущем полимера и пластификатора

а)

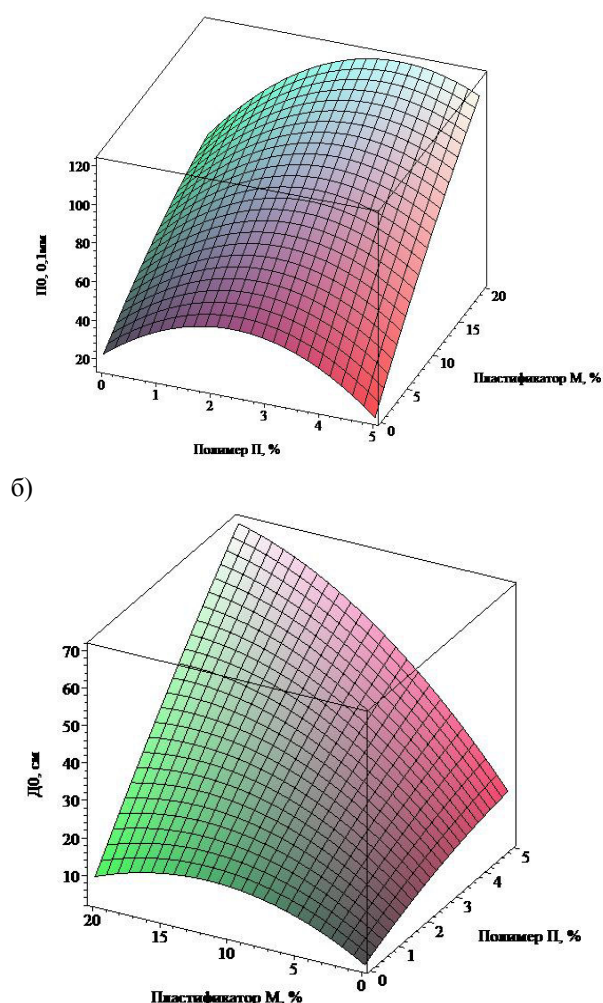


Рис. 2. Зависимость пенетрации (а) и растяжимости (б) при температуре 0 °С от содержания в полимерно-битумном вяжущем полимера и пластификатора

Заключение

В результате проведения экспериментальных исследований получены математические модели в виде уравнений регрессии, отражающие влияние компонентного состава на свойства полимерно-битумных вяжущих. Модифицирование битума полимером типа СБС совместно с пластификатором способствует улучшению физико-механических свойств вяжущих: увеличиваются температуры размягчения при одновременном понижении температур хрупкости, повышается растяжимость и пенетрация при 0 °С, полимерно-битумные вяжущие приобретают эластические свойства. Полученные уравнения регрессии позволяют без проведения трудоем-

ких экспериментальных исследований оптимизировать составы полимерно-битумных вяжущих для конкретных климатических условий эксплуатации.

Библиографический список

1. Полимерно-битумные вяжущие на основе СБС для дорожного строительства / Л.М. Гохман и др. – М., 2002. – 112 с (Автомобильные дороги: Обзорная информация / Информавтодор. – Вып. 4).
2. Кинг, Г.Н. Свойства полимерно-битумных вяжущих и разрабатываемые в США методы испытаний / Г.Н. Кинг, Б.С. Радовский // Материалы и конструкции. – 2004. Октябрь. С. 16 – 27.
3. Иваньски, М. Асфальтобетон как композиционный материал (с нанодисперсными и полимерными компонентами): монография / М. Иваньски, Н.Б. Урьев. – М.: Техполиграфцентр, 2007. – 668 с.
4. Рекомендации по использованию полимерно-битумных вяжущих материалов на основе блоксополимеров типа СБС при строительстве и реконструкции автомобильных дорог. ОДМ 218.2003-2007. – М.: Росавтодор, 2007. – 120 с.
5. Гохман, Л.М. Расчет состава полимерно-битумного вяжущего / Л.М. Гохман // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 4. – С. 33 – 34.
6. Галдина, В.Д. Моделирование на ЭВМ подбора состава полимерно-битумного вяжущего / В.Д. Галдина // Вестник ТГАСУ. – 2011. – № 4. – С. 132 – 138.
7. Основы планирования научно-исследовательского эксперимента/ М. Аугамбаев, А.З. Иванов, Ю.И. Терехов; под ред. Г.М. Рудакова. – Ташкент: Укитувчи, 2004. – 336 с.
8. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей: справочное издание / В.З. Бродский и др. – М.: Metallurgiya, 1982. – 752 с.

MODELLING OF STRUCTURES AND PROPERTIES OF POLYMER-BITUMEN BINDING METHODS OF EXPERIMENT PLANNING

V.D. Galdina, M.S. Chernogorodova

Abstract. With application of a method of mathematical planning of experimental mathematical models of technological and operational properties polymers-bitumen knitting on the basis of viscous road bitumen, polymer of type styrene-butadien-styrene and the softener are received, allowing to optimise structures and to predict properties of the knitting. Experiment planning considerably reduces procedure of selection of structures of polymers-bitumen physicommechanical properties knitting with a demanded complex

Keywords: bitumen, experiment planning, polymers-bitumen knitting, the regress equations.

References

1. Polimerno-bitumnye vjazhushhie na osnove SBS dlja dorozhnogo stroitel'stva [Polymeric and bituminous knitting on the basis of SBS for road construction]. Moscow, 2002. 112 p.
2. King G.N., Radovskij B.S. Svojstva polimerno-bitumnyh vjazhushhih i razrabatyvaemye v SShA metody ispytaniy [Properties polymeric and bituminous knitting and the test methods developed in the USA]. *Materialy i konstrukcii*, 2004, Oktjabr'. pp. 16 – 27.
3. Ivan'ski M., Ur'ev N.B. *Asfal'tobeton kak kompozicionnyj material (s nanodispersnymi i polimernymi komponentami): monografija* [Asfaltobeton as composite material]. Moscow, Tehpoligrafcentr, 2007. 668 p.
4. Rekomendacii po ispol'zovaniju polimer-no-bitumnyh vjazhushhih materialov na osnove blokopolimerov tipa SBS pri stroitel'stve i rekonstrukcii avtomobil'nyh dorog. ODM 218.2003-2007 [Recommendations about use of the polymer-but-bituminous knitting materials on the basis of block copolymers like SBS at construction and reconstruction of highways. ODM 218.2003-2007]. Moscow, Rosavtodor, 2007. 120 p.
5. Gohman L.M. Raschet sostava polimerno-bitumnego vjazhushhego [Calculation of structure polymeric and bituminous knitting]. *Nauka i tehnika v dorozhnoj otrasli*, 2008, no 4. pp. 33 – 34.
6. Galdina V.D. Modelirovanie na JeVM pod-bora sostava polimerno-bitumnego vjazhushhego [Modeling on the COMPUTER of selection of structure polymeric and bituminous knitting]. *Vestnik TGASU*, 2011, no 4. pp. 132 – 138.

7. Osnovy planirovanija nauchno-issledovatel'skogo jeksperimenta [Bases of planning of research experiment]. M. Augambaev, A.Z. Ivanov, Ju.I. Terehov; pod red. G.M. Rudakova. Tashkent: Ukituvchi, 2004. 336 p.

8. Tablicy planov jeksperimenta dlja faktor-nyh i polinomial'nyh modelej: spravochnoe iz-danie [Tables of plans of experiment for factorial and polynomial models]. V.Z. Brodskij. Moscow, Metallurgija, 1982. 752 p.

Галдина Вера Дмитриевна (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные материалы и специальные технологии» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: galdin_ns@sibadi.org).

Черногогорова Мария Сергеевна (Россия, г. Омск) – аспирант кафедры «Подъемно-транспортные, тяговые машины и гидропривод» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: www.mamarya@mail.ru).

Galdina Vera Dmitriyevna (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, the associate professor "Construction materials and special technologies" of The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: galdin_ns@sibadi.org).

Chernogorodova Maria Sergeyevna (Russian Federation, Omsk) – graduate student of "Hoisting-and-transport, Traction Cars and Hydraulic Actuator" chair of The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: www.mamarya@mail.ru).

УДК 69.05

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОСНОВАНИЯ ОЧЕРЕДНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

О.В. Демиденко¹, С.М. Кузнецов²

¹НОУ ВПО Омская гуманитарная академия, Россия, г. Омск;

²Сибирский государственный университет путей сообщения, Россия, г. Новосибирск.

Аннотация. В статье предложен метод оценки организационно-технологического риска строительных, транспортно-технологических и механизированных процессов. Ведущим процессом при выполнении строительно-монтажных работ являются машины и механизмы. Для успешного выполнения производственной программы строительной организации необходимо совместное надежное функционирование транспортно-технологического процесса, строительных бригад, строительных машин и механизмов. Разработанная модель обоснования очередности возведения зданий и сооружений позволит с заданной надежностью рассчитать время их строительства, повысить эффективность использования подвижного состава, строительных машин и бригад за счет их ритмичной и бесперебойной работы.

Ключевые слова: транспортно-технологический процесс, оптимизация, очередность строительства объектов, организационно-технологический риск, строительные машины.

Введение

Транспортно-технологический процесс представляет собой систему, цель которой

обеспечение непрерывной работы строительных потоков с минимальными затратами. В соответствии с поставленной перед систе-