

дефектами проектирования, строительства, содержания и ремонта. С учетом этой дифференциации целесообразно принимать соответствующие организационно-управленческие решения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев А. П., Сиденко В. М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения. – М.: Транспорт, 1990. – 304 с.  
2. Диагностика автомобильных дорог: Учеб. пособие / И. И. Леонович, С. В. Богданович, В. В. Голубев и др.; Под ред. И. И. Леоновича. – Мн.: БНТУ, 2002. – 357 с.

3. Sayers M. Characteristic Power Spectral Density Functions for Vertical and Roll Components of Road Roughness: Symposium on Simulation and Control of Ground Vehicles and Transportation Systems. Proceedings / L. Segel, J. Y. Wong, E. H. Law, D. Hrovat. – American Society of Mechanical Engineers, New York, 1986. – P. 113–139.

4. The International Road Roughness Experiment: Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements: World Bank Technical Paper Number 45.

5. Диагностика автомобильных дорог общего пользования: РД 0219.1.21–2001: Утв. Комитетом по автомобильным дорогам при Министерстве транспорта и коммуникаций Республики Беларусь 07.12.2001. – Мн., 2001. – 84 с.

УДК 625.855.3

## ВЫСОКОПРОЧНЫЕ АСФАЛЬТОБЕТОНЫ С ЗАЩИТНЫМ СЛОЕМ

*Докт. техн. наук, проф. ВЕРЕНЬКО В. А.*

*Белорусский национальный технический университет*

От степени надежности материала покрытия зависят срок службы дорожной одежды, уровень комфортности и безопасности движения. По состоянию дорожного покрытия судят о степени развития производительных сил страны, состоянии ее экономики. Снижение уровня надежности материала покрытия и дорожной одежды в целом ведет к повышенным затратам дорожной (затраты на ремонт) и транспортной отраслей (снижение скорости, повышенный расход горючего, износ транспортных средств).

Конструкционные материалы дорожных одежд функционируют в сложных условиях. В летний период дорожное покрытие нагревается до 50...60 °С. От действия транспортной нагрузки могут появляться пластические деформации в виде волн, колеи, гребенки и т. д. При охлаждении покрытия зимой до минус 20...30 °С возникают растягивающие температурные напряжения, способные превысить предел прочности и вызвать разрушения в виде продольных и поперечных трещин. Цикличес-

кое воздействие транспортной нагрузки, попеременное замораживание–оттаивание вызывают дополнительное развитие повреждаемости в структуре материала и ускоряют его разрушение.

Решение проблемы надежности материалов дорожных покрытий необходимо вести двумя путями:

- совершенствованием методики оценки надежности и долговечности материала покрытия;

- решением ряда организационных, материаловедческих, технологических и конструктивных задач, обеспечивающих требуемый уровень надежности на практике.

Первая задача может быть решена вычислением коэффициентов запаса, отражающих устойчивость материала к основным факторам внешнего воздействия (критерии сдвига и трещиностойкости, морозостойкости, усталости):

$$K_i = \frac{P_i^{\Phi}}{P_i^{\text{TP}}}, \quad (1)$$

где  $P_i^{\Phi}$  – фактические свойства материала, ответственные за появление тех или иных деформаций;  $P_i^{TP}$  – требуемые свойства, при которых эти деформации отсутствуют в течение первого года службы.

Методика вычисления коэффициентов запаса подробно изложена в [1, 2].

Чтобы использовать значение коэффициентов запаса при оценке надежности, необходимо установить их связь с уровнем надежности, поскольку в реальной ситуации неизбежен статистический разброс.

Уровень надежности можно найти как вероятность того, что коэффициент запаса  $K$  будет меньше значения  $K_i$ , вычисленного по формуле (1), т. е.

$$P = \int_0^{K_i} Fk dK, \quad (2)$$

где  $Fk$  – функция распределения коэффициента запаса.

Таким образом, основным вопросом становится определение вида и характера функций распределения коэффициентов запаса по устойчивости материала покрытия различным видам деформаций.

Установить связь коэффициентов запаса и уровня надежности можно экспериментально –

путем строительства опытных участков дорожных одежд (или покрытий с различными свойствами), обладающих различными коэффициентами запаса с последующим долговременным наблюдением за развитием деформаций и определением уровня надежности по формуле (2). Затем данные подвергаются статистической обработке и получают зависимости связи коэффициентов запаса и уровня надежности.

С этой целью в 2000...2001 гг. были отобраны пробы материалов асфальтобетонных дорожных покрытий, проведены лабораторные испытания и вычислены коэффициенты запаса по четырем критериям деформационной устойчивости. В общей сложности испытано около 60 образцов асфальтобетона. В результате были получены зависимости уровней надежности от значений коэффициентов запаса (рис. 1). Анализ рисунка показывает, что в наибольшей степени уровень надежности «чувствителен» к коэффициенту запаса из условия коррозионной стойкости и в наименьшей – коэффициенту из условия устойчивости к появлению пластических деформаций. То есть увеличение показателей физико-механических свойств асфальтобетона, направленных на повышение коррозионной стойкости, наиболее заметно проявится с точки зрения повышения долговечности в эксплуатации.

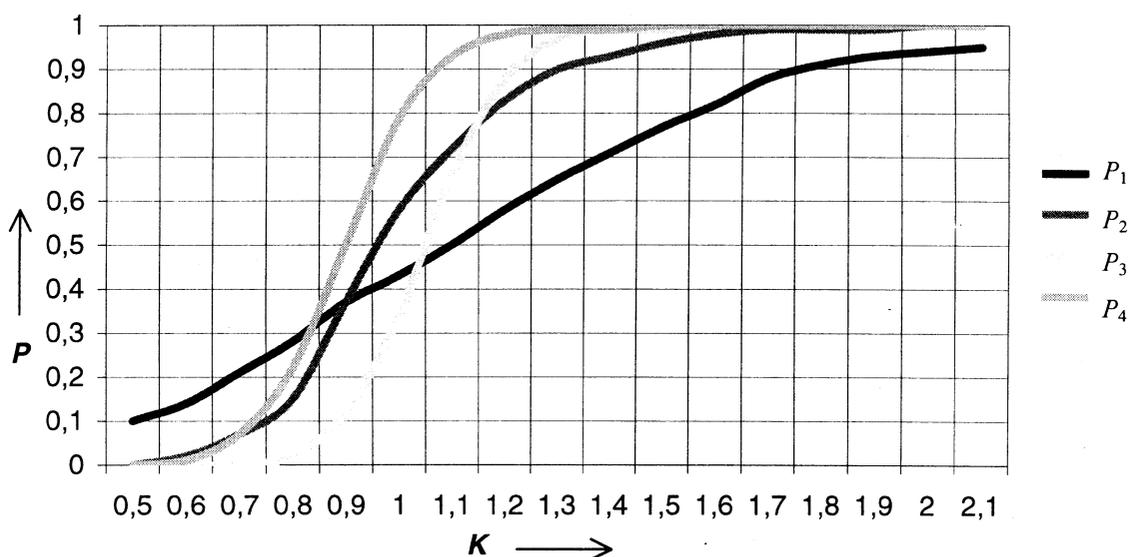


Рис. 1. Зависимость уровня надежности от величины коэффициента запаса

Поскольку для реального материала определяется  $N$  значений  $K_i$ , необходимо для каждого из них вычислить  $P_i$ , а общий уровень надежности найти как произведение частных уровней

$$P_0 = \sqrt[N]{P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_N} . \quad (3)$$

Таким образом, используя представленные подходы, можно осуществить практическую оценку надежности и долговечности тех или иных материалов дорожных покрытий.

Следующий шаг – решение практических проблем повышения надежности и долговечности. Основная сложность решения этой задачи состоит в том, что структурные параметры асфальтобетона находятся в диалектическом противоречии с точки зрения их влияния на надежность и долговечность. Например, повышая прочность асфальтобетона на действие транспортных нагрузок, мы снижаем его устойчивость к погоднo-климатическим факторам.

Вторая задача требует решения ряда организационных, технологических, материаловедческих и конструкционных проблем.

Организационные проблемы связаны со стадией проекта, организацией отношений заказчик–проектная организация–подрядчик, качеством стандартов и условиями их применения.

В отношениях заказчик–подрядчик следует четко определить права и ответственность сторон за качество покрытия. С одной стороны, при недостаточном уровне надежности подрядчик должен возместить определенные средства заказчику на проведение преждевременного ремонта. С другой, при высоком качестве и надежности выше проектной заказчик должен «поделиться» с подрядчиком определенной долей прибыли за счет снижения эксплуатационных затрат. Это повысит заинтересованность подрядчика в повышении качества строительства.

К технологическим следует отнести мероприятия, направленные на обеспечение стабильности состава смеси и ее свойств. Здесь преобладающее значение имеют точность дозирования, возможность выделения узких фракций (особенно мельче 5 мм), стабильность температурно-временных факторов технологического цикла.

Материаловедческие проблемы обусловлены качеством исходных материалов и методиками

подбора состава, конструкционные – связаны с изменением конструкции дорожного покрытия, в частности правильным выбором и временем устройства защитных слоев, которое, в свою очередь, определяет вид и состав смесей для устройства несущего слоя.

В данной статье подробно остановимся на конструкционных проблемах как наиболее эффективных в настоящее время в условиях Республики Беларусь.

На рис. 2 представлена зависимость общего уровня надежности асфальтобетона от содержания щебня и вязкости битума. Как видно, асфальтобетона с повышенным содержанием щебня имеют достаточно низкий уровень надежности (в пределах 50 %), при этом оптимальная вязкость битума составляет около 90 °П. Подобные асфальтобетоны недостаточно устойчивы к повышенным транспортным нагрузкам и имеют невысокую прочность. Такое положение обусловлено падением надежности асфальтобетона с точки зрения действия погоднo-климатических факторов. Как видно из рис. 3, с ростом содержания основных структурообразующих компонент (щебня и отсева) коррозионная стойкость асфальтобетона неуклонно снижается. В то же время многощебенистые асфальтобетоны устойчивы к пластическим деформациям и температурным трещинам. Отсюда возникает конструкционная проблема – сохранение устойчивости асфальтобетона к действию погоднo-климатических факторов. Если каким-либо способом обеспечить достаточный уровень надежности по коррозионной стойкости, то наблюдается совершенно иная картина зависимости общего уровня надежности от структурообразующих компонент (рис. 4), преимущество начинают иметь асфальтобетоны на битумах повышенной вязкости с содержанием щебня 50...60 %. Это позволяет получить асфальтобетоны повышенной прочности и деформационной устойчивости с высокими расчетными характеристиками (модулем упругости и прочностью на изгиб).

При подборе составов подобных смесей необходимо стремиться к минимизации расхода битума с максимальным увеличением плотности смеси и содержания щебня.

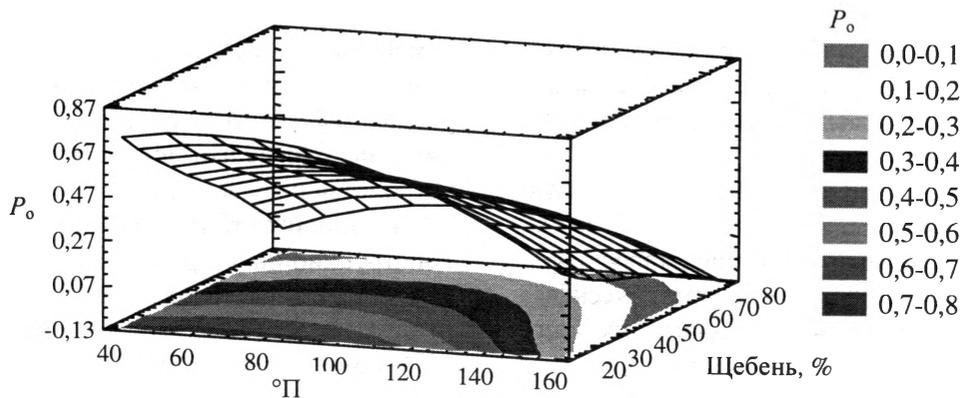


Рис. 2. Зависимость общего уровня надежности асфальтобетона от содержания щебня и вязкости битума

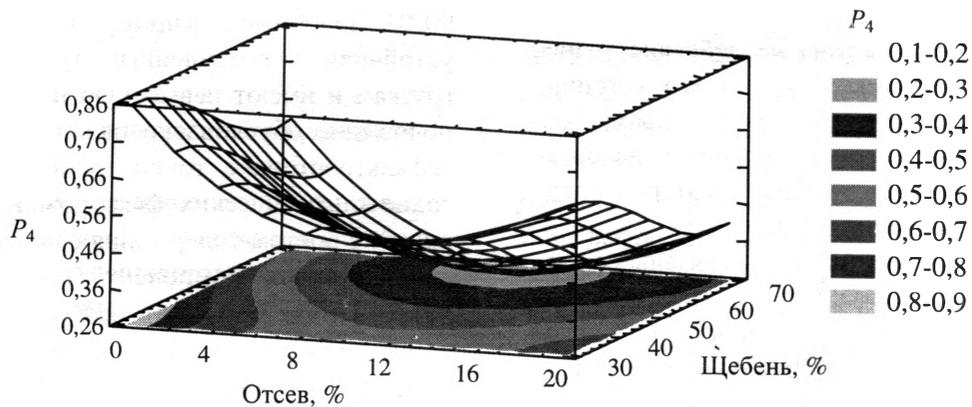


Рис. 3. Зависимость уровня надежности асфальтобетона по коррозионной стойкости от содержания щебня и отсева

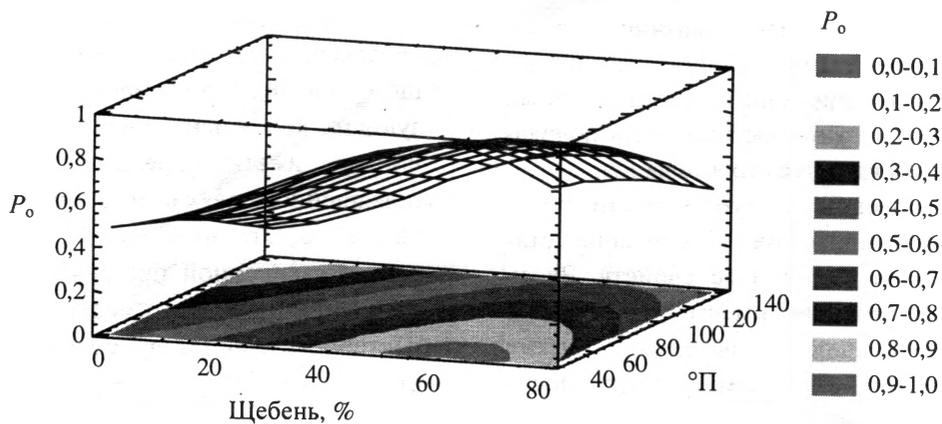


Рис. 4. Зависимость общего уровня надежности от содержания щебня и вязкости битума (без учета коррозионной стойкости)

Защита от коррозии осуществляется конструктивными мерами – путем устройства качественных защитных слоев износа не позже, чем через месяц после устройства покрытия. В качестве слоев износа рекомендуется использовать:

- литые асфальтобетоны с втапливанием щебня;
- щелочестойкие асфальтобетоны;
- тонкослойные покрытия из горячих смесей;
- двойные поверхностные обработки;
- одиночные поверхностные обработки на модифицированных битумах;
- слои из литых эмульсионно-минеральных смесей (Слари – Сил).

Материал защитного слоя должен обладать рядом специфических свойств, основными из которых являются: водонепроницаемость, гибкость и эластичность, морозостойкость. Отметим, что при устройстве тонких слоев износа поверх жесткого несущего слоя происходит перераспределение напряжения и деформаций в слоях покрытия. В результате уровень напряжения в слое износа толщиной 2,5...3 см на 30...40 % ниже, чем в случае применения традиционных покрытий. При этом максимальный уровень напряжения наблюдается в несущем слое. Такое положение позволяет применять в структуре защитных слоев менее жесткую матрицу вяжущего (повышенный расход битума), обеспечивающую высокую степень гидроизоляции.

На взгляд автора, в условиях Республики Беларусь целесообразно наиболее рационально использовать первые два способа устройства защитного слоя. Технология устройства и составы защитных слоев являются отдельной темой.

Разработанные асфальтобетонные смеси нашли отражение в ТУ РБ 100649721.001/2000 «Смеси асфальтобетонные повышенной деформационной устойчивости и асфальтобетон для покрытий городских улиц» под маркой А1. В качестве защитных слоев рекомендуется использовать тип смеси А3 (щелочестойкие смеси). Составы смесей представлены в табл. 1.

Для приготовления смесей используют вязкие битумы с пенетрацией 60...80 градусов. Важной особенностью является специальная методика подбора состава, основанная на достижении максимального уровня надежности [2]. Подобные смеси прошли апробацию на ряде улиц г. Минска и показали свою эффективность.

При устройстве дорожных покрытий по предлагаемой схеме можно использовать и технологию «Компактасфальта», разработанную фирмой «Кирхнер» (Германия). Ее суть заключается в одновременной укладке высокопрочного асфальтобетона и слоя износа. Это обеспечивает качественное сцепление слоев, отказ от подгрунтовки, эффективное уплотнение с двукратным уменьшением затрат на него. Одновременное устройство слоев из различных по составу и свойствам материалов осуществляют с помощью специальных асфальтоукладчиков.

Применение на практике технологии «Компактасфальта» сдерживается пока высокой стоимостью укладочного комплекса (около 800 тыс. евро).

Таким образом, в Республики Беларусь разработаны новые эффективные составы и конструкция дорожного покрытия, обеспечивающие уровень надежности в пределах 95...98 %.

Таблица 1

Наименование и тип смеси	Массовая доля, %, зерен минерального материала мельче, мм										Содержание битума в % от массы минеральной части
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	
Непрерывные зерновые составы											
А3	–	–	90...100	30...50	20...37	14...25	9...18	6...14	4...10	4...6	5,2...7,0
А1	97...100	65...59	47...42	23...30	20...30	20...30	19...27	17...23	16...20	4...14	4,5...6,5

## ЛИТЕРАТУРА

1. Веренько В. А. Дорожные композитные материалы: Структура и механические свойства. – Мн.: Наука і тэхніка, 1993. – 296 с.

2. Веренько В. А. Методика подбора состава асфальтобетона с максимальным уровнем надежности. – Деп. в ВИНТИ, 1333–800. – ОСТ 6.500. – 14 с.

УДК 621.385

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Канд. техн. наук, доц. ШПУРГАЛОВ Ю. А.

Белорусский национальный технический университет

Для получения значительных практических результатов от использования популярного в настоящее время метода математического моделирования применительно к исследованию прикладных проблем горного производства необходим системный подход, позволяющий учитывать большое количество взаимосвязанных физико-технологических и организационных процессов.

Однако существующая практика оптимизации производственной деятельности калийных рудников как большой системы, включающей ряд взаимосвязанных подсистем, основанная на аналитическом математическом моделировании, не в полной мере соответствует современным требованиям.

В статье предпринята попытка разработать и обосновать подход, позволяющий с помощью метода имитационного моделирования свести сложную прикладную математическую задачу к более простой, решение которой может быть получено известными классическими методами.

Условиями применения такого подхода являются: выделение из множества искомых неизвестных величин  $\bar{X}_n$ , исходя из их физического смысла и дополнительных исследований, подмножества  $\bar{X}_k$  независимых (друг от друга и остальных неизвестных ( $\bar{X}_{n-k}$ )) неизвестных величин, определение значений границ изменения неизвестных независимых величин, а также установление достаточной степени точности их определения.

Аналитическая задача для решения производственной проблемы горного производства в самом общем виде может быть формализована таким образом:

$$\begin{cases} F(\bar{X}_n, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q) \rightarrow \text{extr}; \\ \Phi_r(\bar{X}_n, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q) \leq 0, \quad r \in [1, R]; \\ Q_s(\bar{X}_n, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q) = 0, \quad s \in [1, S], \end{cases} \quad (1)$$

где  $F$  – целевая функция модели;  $\Phi_r(\bar{X}_n, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q)$  – математическое выражение  $r$ -го ограничения;  $R$  – их количество;  $Q_s(\bar{X}_n, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q)$  – математическое выражение  $s$ -го условия, которому должно удовлетворять решение задачи;  $S$  – их количество;  $\bar{X}_n \in \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  – подмножество переменных неизвестных величин;  $\bar{A}_I \in \{a_1, a_2, \dots, a_I\}$  – подмножество постоянных детерминированных параметров;  $\bar{B}_L \in \{b_1, b_2, \dots, b_L\}$  – подмножество стохастических параметров, закон распределения которых известен;  $\bar{C}_p \in \{c_1, c_2, \dots, c_p\}$  – закон стохастических параметров, закон распределения которых не известен;  $\bar{D}_Q \in \{d_1, d_2, \dots, d_Q\}$  – подмножество параметров, характеризующих активное противодействие.

Предполагается, что в результате подготовки  $i$ -го имитационного эксперимента будет определено подмножество  $k$  независимых переменных величин  $\bar{X}_k^{(i)}$ . В процессе подстановки