

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СТРОИТЕЛЬСТВА, ТРАНСПОРТА И АРХИТЕКТУРЫ
им. Н. ИСАНОВА**

Диссертационный совет К 05.10.412

На правах рукописи

УДК 625.731.8

Лукпанов Мансур Ризабекович

**ИНТЕГРИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
В УСЛОВИЯХ СТАТИСТИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

Специальность 05.23.11 – проектирование и строительство дорог, метрополитенов,
аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Бишкек – 2012

Диссертационная работа выполнена в **Восточно-Казахстанском государственном техническом университете им. Д. Серикбаева**

Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор
Макенов Алтай Абылаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Абдужабаров Абдухамит Халилович

кандидат технических наук, доцент
Алыкулов Кошойбек Калманбетович

Ведущая организация: Казахский университет путей сообщения,
г. Алматы

Защита диссертации состоится «30» апреля 2012 года в 12-00 на заседании диссертационного совета К 05.10.412 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук при Кыргызском государственном университете строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова (КГУСТА) по адресу: 720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34, б.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова по адресу: 720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34, б.

Автореферат разослан «29» марта 2012 года

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.т.н., доцент

Н.Ж. Маданбеков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Одной из основных причин преждевременного разрушения асфальтобетонных покрытий является несовершенство существующей методики расчета конструкций нежестких дорожных одежд.

Несовершенство существующей нормативной базы отмечено в работах А.П. Васильева: «Назрела необходимость очередного этапа совершенствования норм проектирования автомобильных дорог, исходя из тенденций количественного и качественного развития автомобильного транспорта». Необходима гармонизация отечественных и зарубежных норм, обусловленная расширяющейся интеграцией дорожной сети Казахстана в международную транспортную систему.

По приведенным данным, средний фактический срок службы нежестких дорожных одежд на дорогах РК составляет около пяти лет.

Повышение надежности дорожной одежды необходимо рассматривать системно на этапе ее проектирования и строительства на основе использования математического анализа теории вероятностей и случайных функций, что позволит учесть вероятностно-статистическую изменчивость базисных аргументов, определяющих напряженно-деформированное состояние дорожной одежды.

С этих позиций проблема повышения качества проектирования автомобильных дорог в условиях современного рынка представляет несомненный научный интерес.

Недостаточная теоретическая разработка данной проблемы и сопутствующих задач, появление новых требований к качеству проектирования и строительства автомобильных дорог делают ее крайне актуальной.

Целью исследования является разработка теоретических предпосылок и практических рекомендаций по повышению качества проектирования дорожной одежды в условиях статистической неопределенности физико-механических свойств материалов.

В соответствии с целью исследования потребовалось решение следующих **задач исследования**:

- обосновать методику оценки и прогнозирования статистической надежности результатов проектирования дорожной одежды нежесткого типа по упругому прогибу;
- разработать концепцию и имитационную проектную технологию послойного расчета модуля упругости конструкции дорожной одежды нежесткого типа;
- оцифровать и разработать аналитическую двухфакторную модель оценки модуля упругости двухслойной конструкции дорожной одежды;
- разработать имитационную модель оценки модуля упругости для двухслойной конструкции дорожных одежд нежесткого типа в условиях

статистической неопределенности физико-механических свойств строительных материалов и проектных рисков в принятой нормативной базе;

– разработать практические рекомендации по совершенствованию методики расчета дорожных одежд нежесткого типа по упругому прогибу.

Объектом исследования является система управления качеством проектирования автомобильных дорог.

Предметом исследования являются процессы проектирования дорожных одежд нежесткого типа в условиях статистической неопределенности физико-механических свойств строительных материалов.

Теоретической основой диссертационного исследования послужили труды отечественных и зарубежных ученых, исследования по проблемам проектирования автомобильных дорог, работы по математическому и имитационному моделированию проектных процессов в системе дорожного строительства.

Методологической основой настоящих исследований является системный подход в сфере проектирования и строительства, методы экспертного оценивания, структурно-функционального и имитационного моделирования, разделы теории вероятностей и математической статистики.

Информационную базу исследований составили нормативно-законодательные акты Республики Казахстан, материалы Агентства Республики Казахстан и ВКО по статистике, отчетные данные Министерства транспорта и коммуникаций Республики Казахстан, ТОО «Центр социальных проектов» и ТОО «Региональный научно-технический парк» «Алтай», публикации в научных изданиях, информация www-серверов, официальные материалы, опубликованные в периодической печати.

Научная новизна полученных результатов:

– разработаны концепция и вероятностно-статистический метод надежности, реализующий процесс пошагового проектирования с визуальным и аналитическим оцениванием результатов расчета модуля упругости двухслойных конструкций дорожной одежды по критериям статистической вариабельности;

– разработана аналитическая двухфакторная модель оценки модуля упругости двухслойной конструкции дорожной одежды;

– впервые разработана имитационная модель оценки модуля упругости конструкции дорожной одежды в условиях статистической неопределенности физико-механических свойств строительных материалов и проектных рисков в принятой нормативной базе.

Практическая значимость полученных результатов:

– разработанная методика оценки и прогнозирования рисков проектирования дорожных одежд способствует повышению качества и надежности проектирования. Методика расчета апробирована при проектировании автомобильных дорог в ТОО «Центр социальных проектов»;

– разработанная имитационная модель позволяет реализовать в проектировании режим визуального моделирования, являющийся в настоящее

время в проектной деятельности инновационным подходом, так как позволяет наглядно представить разработчику проекта поле результатов проектирования. Внедрена в учебный процесс ВКГТУ им. Д.Серикбаева;

– разработанная имитационная модель показала, что вероятное значение расчетных результатов, удовлетворяющих требованию $E_{общ} < E_{mp}$ ($E_{mp} = 305$ МПа) составляет 47 %. Вместе с тем по сложившимся нормам проектирования статистическая надежность должна быть не ниже 95 %. Результаты моделирования использованы в ВК ОФ РГП «Казахавтодор» при проектировании автомобильной дороги Усть-Каменогорск-Зыряновск.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

– методика оценки и прогнозирования показателей прочности дорожной одежды на примере упругого прогиба в условиях природной вариабельности физико-механических свойств строительных материалов;

– аналитическая двухфакторная модель расчета модуля упругости двухслойной конструкции дорожной одежды;

– имитационная модель оценки модуля упругости конструкции дорожной одежды в условиях статистической неопределенности физико-механических свойств строительных материалов.

Личный вклад автора заключается в проведении экспериментальных и теоретических исследований, выполненных расчетах, а также в применении имитационного подхода к решению проблемы, внедрении методологии системного процессного проектирования на этапах жизненного цикла автомобильных дорог; разработке аналитической двухфакторной модели расчета модуля упругости двухслойной конструкции дорожной одежды для разных критериев расчета автомобильной дороги в условиях статистической неопределенности физико-механических свойств, строительных материалов и нормируемых параметров; разработке имитационной модели оценки и прогнозирования коэффициента прочности конструкции нежесткой дорожной одежды по упругому прогибу.

Достоверность результатов. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций основывается на корректном использовании принципов системности, методов экспертного оценивания, структурно-функционального и имитационного моделирования, разделы теории вероятностей и математической статистики.

Научные результаты, полученные в процессе исследования, проверены численной реализацией и проведенными вычислительными экспериментами. На их основе решена прикладная задача надежности конструкций дорожной одежды, что обуславливает достоверность и обоснованность полученных научных результатов и положений, выносимых на защиту. Проведена оценка эффективности предлагаемой методики с использованием разработанной математической модели в сравнении с существующей методикой расчета.

Апробация результатов исследования. Основные положения и результаты диссертации были доложены и одобрены на ежегодных научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава

КГУСТА, 2009-2011 г.; опубликованы в материалах республиканских научно-технических конференций студентов, магистрантов, аспирантов и молодых преподавателей «Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана», ВКГТУ, 2008-2011 г.

Внедрение результатов исследования. Основные научные положения и результаты исследования внедрены в производство ВК ОФ РГП «Казахавтодор» и использованы в разработке систем организации процессов проектирования автомобильных дорог ТОО «Центр социальных проектов». Кроме того результаты исследования используются в учебном процессе ВКГТУ.

Публикации результатов исследований. Материалы диссертации опубликованы в 8 научных трудах, в том числе 5 – в научных периодических изданиях, рекомендованных ВАК КР.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованных источников. Текстовая часть изложена на **162** страницах машинописного текста, содержит **29** рисунков, **30** таблиц и список использованных источников из **112** наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, изложены цель, гипотеза и задачи исследования, сформулированы научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

Первой главе рассмотрены современное состояние проблемы, проведен анализ методов управления надежностью автомобильных дорог.

Анализ исследований в области проектирования и строительства автомобильных дорог показал, что качество и надежность указанных объектов закладывается на стадии проектирования, реализуется на стадии строительства и поддерживается в процессе эксплуатации. Исследования существующих методов расчета нежестких дорожных одежд, применяемых за период с 1960 г. по настоящее время, показали, что значения принятых в нормативных документах коэффициентов прочности конструкции для разных критериев расчета (упругого прогиба, растяжения при изгибе в монолитных слоях и сдвиге в подстилающем грунте и малосвязных материалах) были установлены эмпирическим путем. Аналитические решения, позволяющие обосновать нормативные величины коэффициентов прочности нежесткой дорожной одежды, с учетом совместного влияния вероятностно-статистической изменчивости прочностных, деформационных, геометрических характеристик конструктивных слоев и эксплуатационных нагрузок, в научной и технической литературе отсутствуют.

Исследованию закономерностей распределения физико-механических свойств материалов, применяемых для устройства нежестких дорожных одежд и учета вероятностно-статистических закономерностей распределения физико-

механических свойств материалов конструктивных слоев дорожных одежд, были посвящены работы В.М.Сиденко, Н.Н.Иванова, А.П.Васильева, И.А.Золотаря, А.В.Руденского, В.А.Семенова, В.М.Ляхтера, И.Н.Ивашенко и др. В общей теории систем оказались необходимы работы М.Месаровича, А.И.Уемова, И.В.Блауберга, В.Н.Садовского, Э.Г.Юдина, Ф.И.Перегудова, Д.М.Тарасенко. В науку управления значительный вклад внесли труды П.Друкера, Д.Надлера, Х.Шозо, Р.А.Фатхутдинова, И.Ансоффа. В области менеджмента качества следует отметить работы В.В.Окрепилова, В.А.Лапидуса, В.К.Кулешова. Большой вклад в теорию и практику математического моделирования внесли Е.С.Вентцель, Н.Н.Моисеев, О.И.Ларичев, К.Нейлор, В.П.Боровиков, А.И.Орлов. Несмотря на усилившееся в последние годы внимание к исследованию процессов проектирования автомобильных дорог, методов оценки и прогнозирования риска в проектировании и строительства дорог, данные вопросы освещены крайне мало. Решение этой проблемы имеет важное значение для теории и практики, поэтому возникла необходимость в дополнительных исследованиях по эффективности и качеству в такой отрасли, как автомобильные дороги.

Все вышеизложенное и определило выбор темы диссертационного исследования.

Во второй главе в соответствии с существующими рекомендациями определяются расчетные параметры подвижной нагрузки, требуемый модуль упругости, выдвигается гипотеза о конструкции дорожной одежды и выполнен расчет общего модуля упругости данной конструкции, который сравнивают с нормативным значением. Если общий расчетный модуль больше нормативного значения, то конструкция удовлетворяет проектным требованиям.

Общий расчетный модуль упругости конструкции согласно существующим рекомендациям можно определять двумя способами.

Первый способ предусматривает пошаговое вычисление общей нагрузки для двухслойной конструкции с использованием специальной графической номограммы. Использование номограммы предполагает ручную процедуру вычисления $E_{общ}$, что исключает полную автоматизацию расчета и делает практически невозможным использование имитационных методов, так как при большом количестве имитаций резко возрастает объем ручных измерительных процедур.

Второй способ позволяет определить $E_{общ}$ для двухслойного полупространства по известным аналитическим формулам. Однако данный метод может быть использован при определенных ограничениях.

В данной работе предлагается использовать первый способ, но с существенной модификацией, которая состоит в «оцифровке» расчетной номограммы и на ее базе разработке многофакторной аналитической расчетной модели, где в качестве факторов-аргументов выступают отношения h/D и E_n/E_g ($E_{i+1}^{(3)} / E_i$).

При разработке указанной модели нами была выдвинута гипотеза, что искомое модельное значение общего модуля упругости двухслойной конструкции имеет следующий вид:

$$Z = A_0 + A_1 \times X + A_2 \times X^2 + A_3 \times Y + A_4 \times Y^2, \quad (1)$$

где $Z - E_{\text{общ}}/E_n$;

$Y - h/D$;

$X - E_n/E_6$.

Приведение многослойной конструкции к эквивалентной однослойной ведется послойно, начиная с подстилающего грунта.

Тогда найденное аналитическое выражение модели по «оцифрованной» матрице значений номограммы будет иметь следующий вид:

$$Y = 0,015 + 0,35X - 0,62X^2 + 0,282Z - 0,064Z^2. \quad (2)$$

Графическая трехмерная интерпретация данной модели представлена на рис. 1.

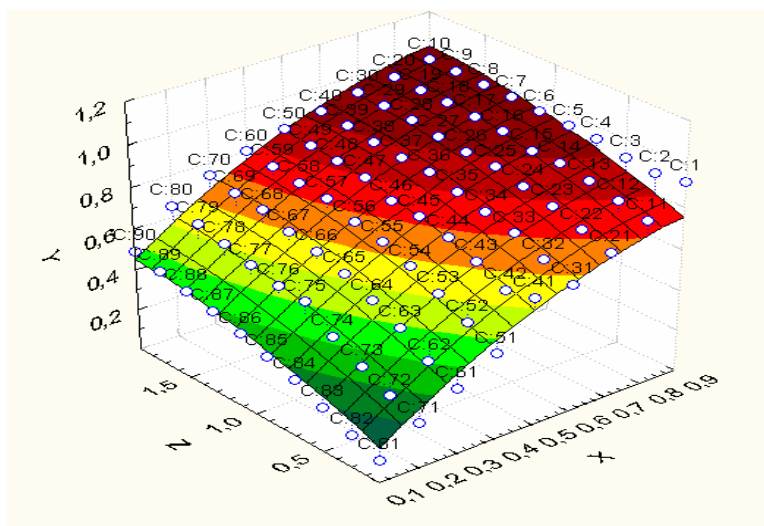


Рис. 1. Трехмерная графическая интерпретация двухфакторной модели послойного расчета модуля упругости дорожной одежды

Приведенные в существующих нормативных документах значения модулей упругости грунтов и материалов в настоящей работе будут рассматриваться как средние значения случайных величин, имеющие определенные законы распределения. Тогда может быть сформулирован следующий имитационный алгоритм расчета по допустимому упругому прогибу (по требуемому модулю деформации) (рис. 2).

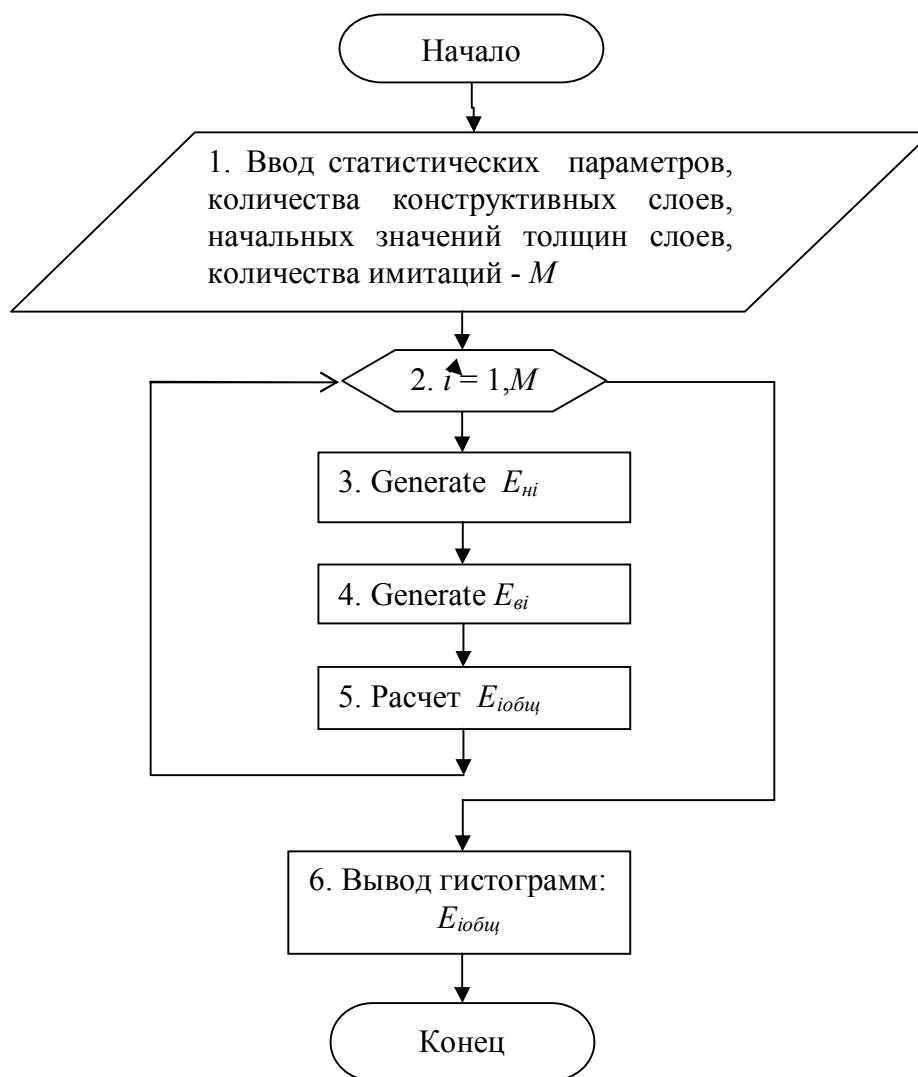


Рис. 2. Имитационный алгоритм расчета модуля упругости двухслойной конструкции дорожной одежды

В первом блоке осуществляется ввод всех перечисленных выше статистических характеристик. Во втором блоке открывается начало цикла по переменной цикла M , которая определяет число имитационных реализаций (повторений). В третьем и четвертом блоках генерируются случайные значения E_{ni} и E_{ei} . В блоке 5 осуществляется расчет $E_{iобщ}$ по выражению (2). В блоке 6 производится построение гистограммы распределения результата. Функциональное назначение каждого шага имитационной модели кратко представлено в ее блоках. Так как расчетные выражения используются в соответствии с установленными стандартами, необходимость в детальном описании математических выкладок отсутствует.

Результаты имитационных расчетов накапливаются в специальных массивах, и по завершении цикла по переменной M осуществляется статистическая обработка с построением гистограммы $E_{iобщ}$.

По завершении моделирования модуля упругости всей многослойной конструкции дорожной одежды строится гистограмма распределения $E_{общ}$,

производится исследование результатов на принадлежность к определенному теоретическому закону распределения, и определяется риск, т.е. вероятное количество расчетных случайных реализаций $E_{общ}$, оказавшихся ниже значения требуемого модуля упругости,

$$P_{риск} = P(E_{общ} < E_{тр}). \quad (3)$$

Как показывают многочисленные исследования в разных научно-практических сферах деятельности, в том числе и в проектировании автомобильных дорог, в настоящее время нет строгой объективно обоснованной методики определения нормативов и допусков. Поэтому правомерно предположить, что $E_{тр}$ является величиной случайной, которая в зависимости от условий эксплуатации дороги и времени может изменяться.

Назначая величину доверительной вероятности на поле распределения E , можно получить расчетное значение рисков проектирования и заказчика проекта, которые могут быть интерпретированы как коэффициенты надежности и прочности.

Работа имитационной модели осуществляется в диалоговом режиме, что позволяет реализовать в проектировании режим визуального моделирования, являющийся в настоящее время в проектной деятельности инновационным подходом.

В третьей главе проведены экспериментально-статистические исследования. При этом описаны природно-геологические условия района проектирования и произведен расчет прочности дорожной одежды имитационно-статистическим и традиционным методами.

Ранее проведенными исследованиями установлено, что по дорожно-климатическим условиям территория ВКО делится на четыре зоны:

- а) зона избыточного увлажнения – 1;
- б) зона переменного увлажнения – 2;
- в) зона недостаточного увлажнения – 3;
- г) зона засушливая – 4.

Внутри каждой зоны для целей проектирования автомобильных дорог выделяются отдельные участки местности по характеру и степени увлажнения.

Так как основная научная гипотеза, исследуемая в данной работе, состоит в утверждении, что низкая фактическая долговечность дорожных проектов зависит от влияния случайных факторов, которые не в полной мере учитываются в существующей методике и алгоритмах проектирования, то в качестве практического обоснования данной гипотезы предлагается пример расчета прочности дорожной одежды по наиболее важному параметру – упругому прогибу. Для оценки эффективности предлагаемой методики расчет прочностных показателей производится двумя способами – по традиционной методике и по визуально-статистической, предлагаемой в работе. В качестве примера выбран участок автомобильной дороги Усть-Каменогорск-Зыряновск. Длина всей дороги составляет 180 км, а исследуемого участка – 20 км.

Автомобильная дорога – II категории.

Дорожно-климатическая зона – IV.

Начальный год эксплуатации – 2009 г.

Интенсивность движения на начало срока службы $N = 1744$ авт./сут.

Коэффициент изменения интенсивности $q = 1,04$.

Приведенная интенсивность движения к расчетной нагрузке $A_3 = 526,85$ авт./сут.

Межремонтный срок – 20 лет.

Требуемый модуль упругости дорожной одежды, согласно существующим методам, составляет 305 МПа.

Исследуемые конструктивные параметры дорожной одежды представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

Материал	h слоя, см	E , МПа при расчете		Расчет дорожной одежды на растяжение при изгибе и сдвиге			
		по допусти- мому прогибу	по сдвиго- устой- чивости	E , МПа	\bar{R}_y , МПа	φ°	C , МПа
Асфальтобетон плотный на битуме 90/130, тип Б, М-I	6	2400	440	3600	2,4	-	-
Асфальтобетон пористый М-I	9	1400	456	2200	1,4	-	-
Горячий черный щебень	12	600	600	600	-	-	-
Переработанная существующая черно-щебеночная или асфальтобетонная смесь с добавлением щебня М1400 фр. 20-40 (до 50 %)	15	300	300	300	-	-	-
Песчано-гравийная смесь	33	180	180	180	-	45	0,02
Супесь песчанистая твердая		56				36	0,014

Результаты расчета дорожной одежды по упругому прогибу с использованием номограммы (рис. 6.1 СН РК 3.03-19-2006) представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты расчета дорожной одежды по упругому прогибу

Модуль упругости E_c , МПа	h слоя, см	Отношение			Модуль упругости на поверхности слоя, МПа	Материал слоя
		h/D	E_n/E_v	$E_{iобщ}/E_v$		
$E_6=2400$	6	0,143	0,105	0,130	312	Плотный асфальтобетон
$E_5=1400$	9	0,214	0,133	0,180	252	Пористый асфальтобетон
$E_4=600$	12	0,286	0,229	0,310	186	Горячая черная щебень
$E_3=300$	15	0,357	0,343	0,458	137,4	Переработанное существующая черная щебень или асфальтобетонное покрытие
$E_2=180$	33	0,786	0,311	0,572	103	ПГС
$E_1=56$						Супесь песчанистая твердая

Проверяем выполнение условия прочности по следующей формуле согласно СН РК 3.03-19-2006:

$$K_{np} \leq E_p/E_{mp}. \quad (4)$$

$$E_p/E_{mp} = 312/305=1,02 > K_{np} = 1,0.$$

Расчет традиционным методом показал, что общий модуль упругости данной конструкции при заданной интенсивности транспортного потока составляет 312 МПа, что выше требуемого.

Предлагаемый метод имитационно-статистического моделирования позволяет проследить визуально все расчетные шаги и по мере необходимости представлять как промежуточные, так и конечные результаты в графической форме. Это позволяет визуально оценивать «узкие» места во всем процессе расчета и корректировать проектные параметры, соотносясь с местными условиями и характеристиками строительных материалов.

Первым шагом является определение общего модуля упругости для двухслойной конструкции, начиная снизу. В качестве нижнего грунтового

основания использована супесь песчанистая твердая. Среднее значение модуля упругости (табл. 1) составляет 56 МПа. Значение модуля упругости для данного материала является для разных условий и времени года величиной случайной с коэффициентом вариации 0,2 и нормальным законом распределения. Среднее значение модуля упругости второго (верхнего) слоя равно 300 МПа с коэффициентом вариации 0.18 с нормальным законом распределения. Тогда, в реальных условиях значения модуля упругости этих слоев будут величинами случайными, которые можно получить имитационным методом. Для повышения точности моделирования в имитационных моделях случайные величины генерируются многократно без ограничений. Для каждого случая находится общее значение модуля упругости двухслойной конструкции, которое обозначим как $E_{iобщ1,2}$. Данное значение $E_{iобщ1,2}$ также является случайной величиной. Повторяя многократно, получим выборку значений объемом N , который можно менять в зависимости от требуемой точности моделирования. В данном случае $N=2000$.

Статистические характеристики результата следующие:

минимальное значение $E_{общ12} = 76$ МПа, максимальное значение равно 130 МПа и среднее значение равно 103 МПа.

Результат компьютерного моделирования прочности двухслойной конструкции $E_{общ12}$ представлен в виде гистограммы (рис. 3).

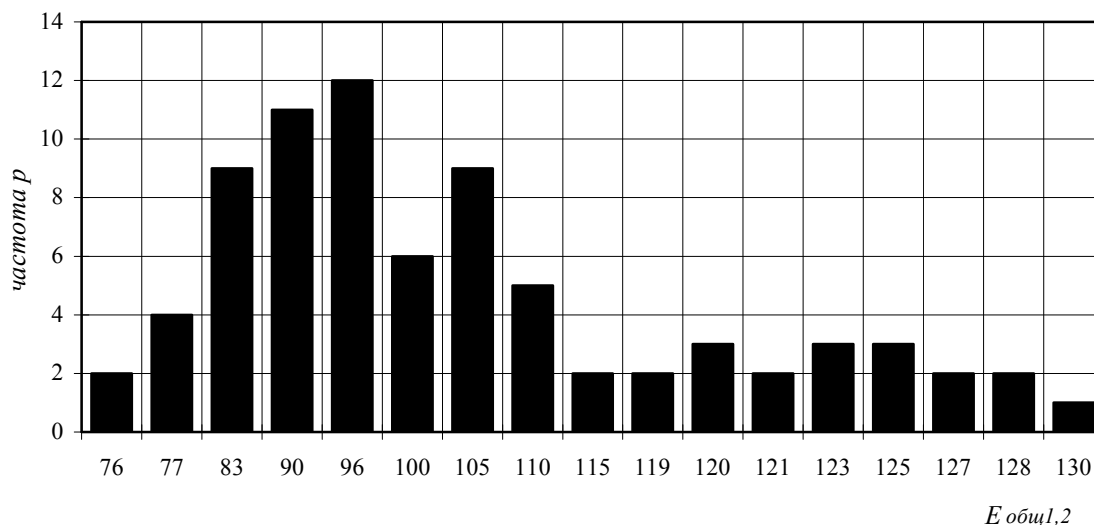


Рис. 3. Гистограмма распределения $E_{общ1,2}$

Аппроксимация эмпирической гистограммы теоретическим законом показала, что гипотеза о принадлежности распределения к закону Вейбулла с коэффициентом формы, равным 2,6, и при уровне значимости, равном 0,05, не отвергается.

Выполняя аналогичные расчеты для остальных слоев, получим следующие результаты.

Статистические характеристики результата следующие:

минимальное значение $E_{общ23} = 116$ МПа, максимальное значение равно 180 МПа и среднее значение равно 139 МПа;

минимальное значение $E_{общ34} = 133$ МПа, максимальное значение равно 231 МПа и среднее значение равно 177 МПа;

минимальное значение $E_{общ45} = 186$ МПа, максимальное значение равно 286 МПа и среднее значение равно 236 МПа;

минимальное значение $E_{общ45} = 251$ МПа, максимальное значение равно 336 МПа и среднее значение равно 94 МПа.

Результат компьютерного моделирования прочности двухслойной конструкции $E_{общ45}$ представлен в виде гистограммы (рис. 4).

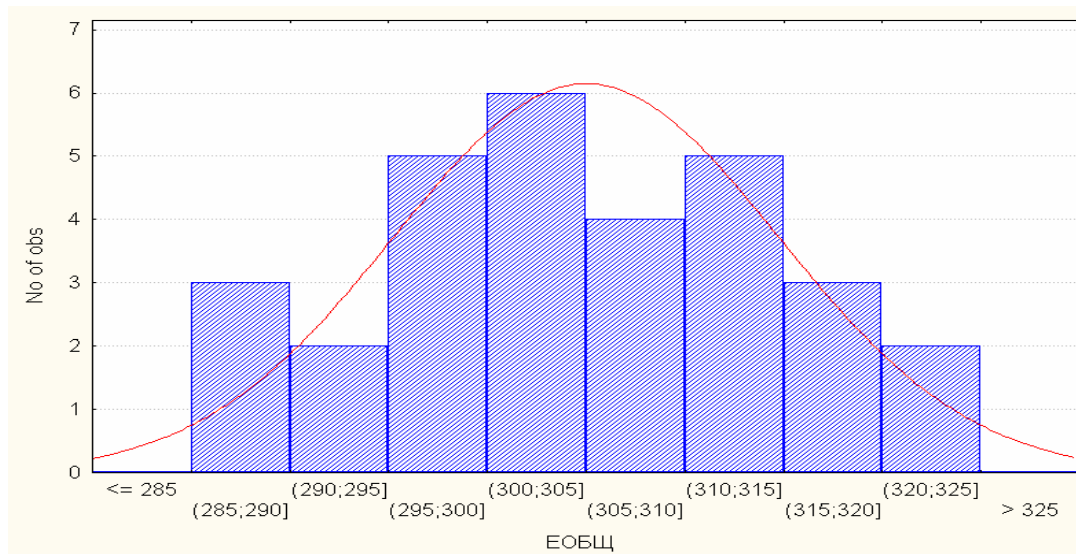


Рис. 4. Гистограмма распределения общего модуля упругости всей конструкции $E_{общ}$

С целью определения результирующей вероятности того, что расчетное значение $E_{общ}$ меньше требуемого $E_{тр} = 305$ МПа, необходимо определить теоретический закон, аппроксимирующий результаты компьютерного эксперимента, представленные гистограммой $E_{общ}$ (рис. 4). Визуальный анализ гистограммы позволяет выдвинуть гипотезу о нормальном законе распределения.

Для исследования выдвинутой гипотезы был использован критерий хи-квадрат согласия Пирсона. Значение хи-квадрат критерия рассчитывается по формуле

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{\varphi} \frac{(n_i - F_i)^2}{F_i}, \quad (5)$$

где n_i – эмпирическая частота i -й группы выборки;

F_i – теоретическая частота i -й группы выборки.

Аппроксимация экспериментального распределения теоретическим законом показала, что гипотеза о нормальном законе распределения по критерию Пирсона с доверительной вероятностью 0,95 не отвергается. Аналитическое выражение функции теоретической плотности распределения $E_{общ}$, которое обозначим как E , имеет следующий вид:

$$f_1(E_{общ}, \sigma_E, E_{cp}) = \frac{1}{35} e^{-\frac{(E-294)^2}{392}}, \quad (6)$$

где $E_{общ}$ – текущее значение общего модуля упругости дорожной конструкции;

σ_E – среднее квадратическое отклонение;

E_{cp} – среднее значение общего модуля упругости дорожной конструкции.

Тогда вероятное значение проектных решений, не удовлетворяющих требованиям по модулю упругости (риск заказчика), может быть найдено из выражения

$$P(E_{общ} < E_{mp}) = 1 / 35 \int_{180}^{305} \exp(-(E - 294)^2 / 392) dE. \quad (7)$$

Определив значение интеграла (интеграла вероятностей) в заданных пределах, было установлено, что вероятное значение расчетных результатов, не удовлетворяющих требованию $E_{общ} < E_{mp}$ ($E_{mp} = 305$ МПа), равно 53 %.

В результате проведенного компьютерного эксперимента установлено, что учет случайных вариаций расчетных и конструктивных параметров при проектировании и строительстве автомобильных дорог приводит к значительному отклонению от расчетных данных детерминированной методики в сторону снижения эксплуатационных качеств дороги.

В четвертой главе приводится оценка экономической эффективности. На основе расчета экономического эффекта функционирования проекта за весь расчетный период можно сказать, что капиталовложения в проект создания автоматизированной системы будут эффективными, то есть разница между текущей стоимостью будущих денежных поступлений от внедрения исследований и первоначальным оттоком денежных средств, связанных с инвестициями, необходимыми для реализации системы, будет положительна. Коэффициент экономической эффективности единовременных затрат, равный 0,213, больше норматива эффективности капитальных вложений ($E_K = 0,15$) и указывает на то, что проект создания системы можно отнести к нерисковому вложению денежных средств. Срок окупаемости исследований, равный 4,695, означает, что через 4 года и 8 месяцев вложенные первоначально средства полностью окупятся.

ВЫВОДЫ

По результатам исследований в объеме данной диссертационной работы можно сделать следующие выводы.

1. На основе ретроспективного анализа установлено, что проектирование автомобильных дорог следует отнести к слабоформализуемому недетерминированному процессу, в условиях статистической неопределенности проектных аргументов. Природа данной неопределенности состоит в постоянно изменяющихся внешних условиях, среди которых доминирующую роль играет гидрология, статистические вариации физико-механических свойств строительных материалов, погрешности реализации и контроля конструктивных параметров дорожной одежды в процессе строительства.

2. Обоснована методика оценки и прогнозирования статистической надежности результатов проектирования дорожной одежды. Статистическая надежность результатов проектирования дорожной одежды является функцией законов распределения физико-механических свойств строительных материалов, прогнозируемых случайных отклонений результатов реализации проектной конструкции дорожной одежды вследствие строительных ошибок в системе технологического контроля.

3. Разработана концепция и имитационная проектная технология послойного расчета модуля упругости конструкции нежесткой дорожной одежды. Концепция состоит в том, что проектирование осуществляется не по детерминированным значениям проектных аргументов, а с учетом статистических законов распределения физико-механических свойств материалов. Оно опирается на вероятностную природу процессов проектирования и результатов строительства. Проектная технология предусматривает визуально-аналитическую оценку статистического распределения результатов послойного расчета модуля упругости конструктивных слоев и дорожной одежды в целом.

4. Оцифрован и разработан аналитическая двухфакторная модель оценки модуля упругости двухслойной конструкции дорожной одежды.

5. Разработан алгоритм для расчета статистических показателей послойного проектирования слоев конструкции нежестких дорожных одежд.

6. Выполнен численный эксперимент на базе экспериментальных данных участка автомобильной дороги с применением имитационной модели.

7. Результаты машинного статистического моделирования на базе разработанной имитационной и вероятностной моделей показали, что вероятное значение расчетных результатов, не удовлетворяющих требованию $E_{общ} < E_{тр}$ ($E_{тр} = 305$ МПа), равно 53 %. Таким образом, статистическая надежность на стадии проектирования не превышает 47 %, вместе с тем по сложившимся нормам проектирования статистическая надежность должна быть не ниже 95 %.

8. В результате проведенной оценки экономической эффективности внедрения результатов работы, состоящего в экономии средств на качественное

проектирование автомобильной дороги, срок окупаемости исследований составит 4 года и 8 месяцев.

9. Результаты диссертационной работы были внедрены в следующие организации:

1. ВК ОФ РГП «Казахавтодор»;
2. ТОО «Центр социальных проектов»;
3. Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. **Лукпанов, М.Р.** Изучение скоростей движения транспортных средств на участках автомобильных дорог [Текст] / М.Р. Лукпанов, А.А. Макенов // Вестник ВКГТУ им. Д.Серикбаева, 2009. – Вып. № 4. – С. 64-70.
2. **Лукпанов, М.Р.** Автоматизированная обработка информации по учету и анализу ДТП на автомобильных дорогах [Текст] / А.А. Макенов, Т.Г. Балова, М.Р. Лукпанов // Вестник КГУСТА, 2009. – Вып. № 4 (26). – С. 44-48.
3. **Лукпанов, М.Р.** CALS-концепции в разработке и эксплуатации сложных систем [Текст] / В.А. Корнев, А.А. Макенов, М.Р. Лукпанов // Вестник НИА РК, 2011. – Вып. № 2. – С. 35-39.
4. **Лукпанов, М.Р.** Некоторые вопросы оценки скорости движения транспортных средств на автомобильных дорогах [Текст] / Н.Ж. Маданбеков, А.А. Макенов, М.Р. Лукпанов // Вестник КГУСТА, 2010. – Вып. № 4 (30). – С. 40-46.
5. **Лукпанов, М.Р.** CALS-концепции в проектировании и строительстве автомобильных дорог [Текст] / В.А. Корнев, Н.Ж. Маданбеков, А.А. Макенов, М.Р. Лукпанов // Вестник КГУСТА. 2011. – Вып. № 4 (34). – С. 22-27.
6. **Лукпанов, М.Р.** Экспертная оценка весомости элементов системы «водитель-автомобиль-дорога-среда» [Текст] / М.Р. Лукпанов // Вестник КГУСТА, 2011. – Вып. № 1 (31). – С. 74-78.
7. **Лукпанов, М.Р.** Статистические модели показателей прочности дорожного покрытия в автоматизированной системе управления качеством дорог [Текст] / М.Р. Лукпанов // Вестник КГУСТА, 2011. – Вып. № 2 (32). – С. 208-215.
8. **Лукпанов, М.Р.** Прогнозирование проектных и производственных рисков в процессе создания автомобильных дорог с учетом статистических свойств материалов и методик [Текст] / М.Р. Лукпанов // Вестник ВКГТУ им. Д.Серикбаева, 2011. – Вып. № 2 (52). – С. 84-86.

05.23.11 – жолдорду, метрополитендерди, аэродромдорду, көпүрөлөрдү жана транспорттук тоннелдерди долборлоо жана куруу кесипчилиги боюнча илимий даража алуу үчүн «Статистикалык белгисиздик шартында автомобиль жолдорун долборлоонун жана куруунун сапатын интеграциялык башкаруу» темасындагы Лукпанов Мансур Ризабековичтин диссертациясынын

КОРУТУНДУСУ

Негизги сөздөр: Статистикалык белгисиздик, имитациялык моделдөө, математикалык статистика, серпилгичтик модулу, бекемдүүлүк коэффициенттери, физико-механикалык касиеттери, жол төшөлгөсү, бөлүштүрүүнүн тыгыздыгы, орточо квадраттык чектен чыгуу.

Изилдөөнүн объектиси. Автомобиль жолдорун долборлоонун сапатын башкаруу системасы.

Изилдөөнүн максаты. Материалдардын физико-механикалык касиеттеринин статистикалык белгисиздик шартында жол төшөлгөсүн долборлоонун сапатын жогорулатуу боюнча теориялык өбөлгөлөрүн жана практикалык сунуштарын иштеп чыгуу.

Изилдөөнүн методдору. Долборлоо жана курулуш чөйрөсүндөгү системалык подходу, эксперттик баалоо ыкмалары, структуралык функционалдык жана имитациялык моделдөө, математикалык статистика.

Алынган жыйынтыктар жана алардын жаңылыгы. Статистикалык өзгөрүүчүлүк критерийи боюнча эки катмарлуу жол төшөлгөсүнүн серпилгичтик модулунун эсебинин жыйынтыктарын визуалдуу жана аналитикалык баалоо менен кадамдап долборлоо процессин ишке ашыруучу концепциясы жана ыктымалдуулук статистикалык ыкмасы иштелип чыккан; эки катмарлуу жол төшөлгөсүнүн конструкциясынын серпилгичтик модулунун баалоонун аналитикалык эки факторлуу модели иштелип чыккан; нормативдик базада кабыл алынган курулуш материалдарынын физико-механикалык касиеттеринин статистикалык белгисиздик жана долбоорлоодогу тобокелчилдик шартында жол төшөлгөсүнүн конструкциясынын серпилгичтик модулунун баалоонун имитациялык модели иштелип чыккан.

Пайдалануу деңгээли. «Казахавтодор» мамлекеттик ишканасында Усть-Каменогорск-Зыряновск автомобиль жолун калыбына келтирүүдө баалоонун имитациялык модели жана катуу эмес жол төшөлгөсүнүн конструкциясынын серпилгичтик модулу боюнча бекемдүүлүк коэффициентин алдын алууда пайдаланылган.

Колдонуу областы. Долборлоо маалыматтарынын белгисиздик шартында жол төшөлгөсүн долборлоонун сапатын башкаруу.

РЕЗЮМЕ

диссертации Лукпанова Мансура Ризабековича на тему «Интегрированное управление качеством проектирования и строительства автомобильных дорог в условиях статистической неопределенности» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.11 - проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

Ключевые слова: Статистическая неопределенность, имитационное моделирование, математическая статистика, модуль упругости, коэффициент прочности, физико-механические свойства, дорожная одежда, плотность распределения, среднее квадратическое отклонение.

Объект исследования. Система управления качеством проектирования автомобильных дорог.

Целью исследования. Разработка теоретических предпосылок и практических рекомендаций по повышению качества проектирования дорожной одежды в условиях статистической неопределенности физико-механических свойств материалов.

Методы исследования. Системный подход в сфере проектирования и строительства, методов экспертного оценивания, структурно-функционального и имитационного моделирования, математической статистики.

Полученные результаты и их новизна.

Разработаны концепция и вероятностно-статистический метод надежности, реализующий процесс пошагового проектирования с визуальным и аналитическим оцениванием результатов расчета модуля упругости двухслойных конструкций дорожной одежды по критериям статистической вариабельности; разработана аналитическая двухфакторная модель оценки модуля упругости двухслойной конструкции дорожной одежды; разработана имитационная модель оценки модуля упругости конструкции дорожной одежды в условиях статистической неопределенности физико-механических свойств строительных материалов и проектных рисков в принятой нормативной базе.

Степень использования. При реконструкции дорожной одежды автомобильной дороги Усть-Каменогорск-Зыряновск были реализованы имитационная модель оценки и прогнозирования коэффициента прочности конструкции нежесткой дорожной одежды по упругому прогибу ВК ОФ РГП «Казахавтодор».

Область применения. При управлении качеством проектирования дорожных одежд в условиях неопределенности проектных данных.

RESUME

on the thesis «Integrated control over quality of design and building highways under conditions of statistical uncertainty» written by Lukpanov Mansur Rizabekovich – a nominee for candidate of technical sciences degree on the specialty 05.23.11 –designing and building of highways, subways, airdromes, bridges and tunnels

Key words: statistical uncertainty, simulation modeling, mathematical statistics, elasticity modulus, strength factor, mechanical-and-physical properties, roadway paving, distribution density, mean square deviation

Subject of research. System of control over highway design quality.

Goal of research. Work out of theoretical prerequisite and practical recommendations on raising quality designing of roadway paving under conditions of statistical uncertainty mechanical-and-physical properties of materials.

Research methods. System approach in the sphere of design and building, methods of expert estimation, structural, functional, and simulation modeling, mathematical statistics.

Findings and their novelty.

Worked out conception and probability-statistic method of reliability, realizing process of incremental designing with visual and analytic evaluation results of account elasticity modulus two layer constructions of roadway paving on criterion statistic variability; worked out analytic two-factor model valuation of elasticity modulus of two layer constructions of roadway paving; worked out simulation model evaluation of elasticity modulus constructions of roadway paving under conditions of statistical uncertainty mechanical-and-physical properties of materials and designed risks in accepted normative base.

Degree of utilization. While reconstructing roadway pavement of Ust-Kamenogorsk – Zyryanovsk highway, simulation model of estimating and predicting strength factor of non-rigid roadway pavement construction along elastic deflection of JSC «Kazakhavtodor» has been implemented.

Field of application. In controlling quality of roadway pavements under conditions of design data uncertainty

Лукпанов Мансур Ризабекович

ИНТЕГРИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И
СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ
СТАТИСТИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Редактор *С.Е. Аксененко*

Подписано в печать 27.03.2012 г.

Формат 60 x 84 1/16. Объем 1,0 уч.-изд.л.

Печать офсетная. Бумага офсетная.

Тираж 100 экз. Заказ № _____

720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34, б
Кыргызский государственный университет
строительства, транспорта и архитектуры
им. Н.Исанова