



# О ЗАРУБЕЖНЫХ ПОДХОДАХ к управлению стратегическими программами транспортных исследований, стандартизации и инноваций на примере SHRP, SHRP2 и NCRHP

Вопросы гармонизированного развития стандартизации инновационных подходов в условиях стремительно возрастающих объемов и интенсивности перевозок, изменения климата и санитарно-эпидемиологических условий становятся все более актуальными для реализации крупных проектов развития всех секторов строительства и содержания инфраструктуры (авто- и железнодорожной, портовой, аэродромной, трубопроводной и др.) на пространствах Евразийского экономического союза и других международных организаций.

**Ю. В. Зворыкина**, д.э.н., профессор МГИМО МИД РФ, АНО «Институт ВЭБ», BRITA

**С. Л. Мамулат**, MBA, ФГБОУ ВО «СибАДИ», ИИЦ при Исполкоме КТС СНГ, BRITA

**П**ри этом система управления инновациями в целом и процессами внедрения и стандартизации инновационных подходов в частности уже на начальной стадии формирования сталкивается с вопросами и проблемами, требующими конструктивного решения с учетом интересов всех ключевых групп стейкхолдеров. Например, в вышедшем за последнее время ряде публикаций [1], интернет-дискуссий и выступлений на XXXI научной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона «Развитие технологии асфальтобетона в условиях совершенствования нормативной базы материалов и методов испытаний», состоявшейся 26 января 2021 г. в МАДИ [2], значительное внимание было уделено порядку обсуждения и внедрения комплекса национальных стандартов, связанных с системой проектирования дорожных покрытий на основе методов Supergrape [3,4]. При этом в большинстве выступлений на конференции МАДИ звучит критика не только в адрес хода рассмотрения и введения указанных стандартов, но и в адрес научно-методических оснований самого подхода Supergrape, который, при этом, уже активно внедряется в странах — партнерах по ЕАЭС, ШОС и др.

Не отрицая наличия значительного количества проблем и замечаний к сложившемуся на данный момент порядку планирования, обсуждения и утверждения технических

стандартов в дорожной сфере, авторы считают целесообразным более предметно и профессионально рассмотреть зарубежный опыт в управлении инновациями и стандартизацией на примере Supergrape, что позволит более объективно проанализировать ход и перспективы дальнейшего практического внедрения инновационных подходов и систем с опорой на текущий уровень научно-технического развития отечественной дорожной отрасли с учетом стоящих перед ней масштабных задач в рамках реализации прорывных национальных проектов.

В ряде ранее опубликованных работ авторы уже затрагивали различные аспекты и особенности сложившейся в РФ практики и системы управления, стандартизации и инноваций в дорожной сфере [5, 6], в частности — при проектировании, производстве и укладке асфальтобетонных покрытий к началу периода разработки предварительных национальных стандартов на основе системы Supergrape [7, 8, 9, 10]. Тем не менее, более детальный сравнительный анализ научных, технологических и инженерных вопросов развития данной предметно-технологической области в США и у нас в период с 1987 г. (момент старта соответствующих программ США) по 2018 г. (начало перевода соответствующих ПНСТ в статус национальных стандартов ГОСТ Р) авторы планируют в последующих статьях, наряду с анализом первых итогов практического

внедрения, в том числе — озвученных в ходе конференции отечественными производственными практиками [12].

Поэтому и в силу существенных различий систем технического регулирования в РФ и США приведенные в данной статье предметные вопросы, касающиеся исследования и проектирования асфальтобетонных смесей и покрытий, рассматриваются, в первую очередь, для иллюстрации подобия и различий научно-методических и практических задач, актуальных для отечественного и зарубежного дорожных сообществ в различные сопоставляемые периоды времени, с преимущественным фокусированием на управленческих, организационных и регуляторных аспектах. Принятие в России комплекса стандартов «на основе системы Supergrape», начавшееся после утверждения в 2011–2013 гг. ряда документов об увеличении межремонтных сроков службы дорожных покрытий и технологической модернизации дорожного хозяйства, является одной из самых масштабных программ в сфере технического регулирования отечественной дорожной отрасли. Вместе с тем, эта программа стала и предметом наибольшего количества довольно острых дискуссий в дорожном и транспортном сообществе РФ. Например, спектр мнений о недавно принятых в РФ стандартах по системе объемно-функционального проектирования и спецификации дорожных асфальтобетонных

смесей и покрытий [3, 4], озвученных в рамках XXXI научной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона «Развитие технологии асфальтобетона в условиях совершенствования нормативной базы материалов и методов испытаний», прошедшей 26 января 2021 г., МАДИ [2], был максимально широк, от «чрезмерно эмоциональных» и, зачастую, противоречивых до профессионально и предметно обоснованных.

Так, в статье и выступлении Р. Б. Джуманова [1], наряду со справедливым подчеркиванием отличия американской системы технического регулирования в дорожной отрасли (в США допускается использование дорожными органами различных одобренных профессиональными сообществами систем стандартов, наиболее подходящих по совокупности местных условий, а принятие новых систем стандартов не отменяет возможность использования предшествующих) и наличием заметных различий между вновь принятыми стандартами ГОСТ Р [3, 4] и взятыми за основу «оригинальными» версиями «стандартов Supergrape», приводятся утверждения о том, что «Supergrape не состоялся». [11]

В детально и профессионально изложенном Э. В. Котлярским в их совместном докладе с Г. Н. Кирюхиным и В. И. Кочневым [13], на фоне значимых замечаний к недавно принятым отечественным стандартам «на основе Supergrape», прозвучало предметное изложение отечественных подходов и методов проектирования и испытания асфальтобетонных смесей и покрытий с обозначением актуальных методических и научно-прикладных задач, практически идентичных тем, которые легли в основу приоритетов Стратегической программы дорожных исследований (SHRP), одним из результатов которой стала система Supergrape (таблица 1), далее в настоящей статье приводится более детальное изложение вопросов проектирования и устройства асфальтобетонных покрытий [14, 15] в связке с системой управления и основными этапами реализации соответствующих стратегических и национальных кооперативных программ США.

Таблица 1. Выдержки из выступления Э. В. Котлярского [13] об актуальных проблемах и задачах совершенствования системы проектирования и укладки асфальтобетонных смесей с увеличенным сроком службы

Достижения и решения	Актуальные задачи и проблемы
Над тематиками АБС в МАДИ работали С. В. Шестоперов, Н. В. Горельшев. Методы объемного проектирования у нас использовались с 40-х годов. До сих пор муниципальные дорожные организации применяют методы определения плотности, водонасыщения, прочностных показателей при сжатии/расколе/изгибе. Факультативно (из-за сложностей с приборной базой) применяли методы Маршалла. Подходы, которые они заложили, практически не изменились и легли в основу ГОСТ 12801-98, в который внесли ряд корректировок в 1998 г.	Учет опыта и условий эксплуатации обязателен! Изменились транспортные нагрузки (было 6 т и 10 т, стало 11 т), что вынуждает вносить коррективы, увеличилось влияние абразивного воздействия шипами. Климатические условия и водно-тепловой режим эксплуатации покрытий в регионах РФ очень различаются. Одними из важнейших параметров являются поровая структура, «битумность» и степень уплотнения. Переуплотнять смеси недопустимо! Однако непонятно, почему для дорог с разными транспортными нагрузками нужны разные степени уплотнения. Надо совершенствовать методы испытаний, обеспечивая комплексный подход. Методологию изготовления лабораторных образцов необходимо совершенствовать! Возможно, будет перспективной плоско-параллельная реология или 3-осный сдвиг для разных температурных сегментов. Возможно - с применением (особенно для смесей на ПБВ) принципа температурно-временной аналогии, который применяют «полимерщики». В работах А. С. Колбановской были разработаны положения о коллоидных типах битумных вяжущих и ПБВ, но в последние годы становится все более актуальным изучение процессов старения «остаточных» битумов. Никто не проводит массового эксперимента, а долговечность надо определять осознано! Нам самим «не осилить» накопление статистических данных для достоверных прогнозных расчетов конструкций при заданных условиях эксплуатации (климат, нагрузка).

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ SUPERGRAPE В РАМКАХ СТРАТЕГИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ ДОРОЖНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В США (SHRP)

Система спецификации и проектирования материалов и смесей для дорожных покрытий с увеличенным сроком службы, получившая в последствии название Supergrape, изначально разрабатывалась как один из компонентов Стратегической программы дорожных исследований (Strategic Highway Research Program), начавшейся после принятия в США Акта 1987 Surface Transportation and Uniform Relocation Assistance. В программных документах и первых отчетах по программе SHRP говорится, что она была первоначально задумана в ответ на понимание автодорожным сектором того, что после арабского нефтяного эмбарго 1972 года качество асфальтобетонных смесей во многих случаях ухудшилось до неприемлемого уровня. Это произошедшее ухудшение было — и до сих пор остается — причиной неприемлемого уровня ранних дефектов дорожных покрытий. Вследствие этого основной целью посвященных битумам частей SHRP была разработка технических характеристик, связанных с эксплуатационными параметрами битумных вяжущих и асфальтобетонных

смесей, которые предотвращают раннее разрушение дорожного покрытия. [14, стр. 9] Для работы над этой проблемой при Национальном исследовательском совете были созданы, в качестве его уполномоченных, подразделения Секция 128 и Исследовательская группа A002A, включившие Западный исследовательский институт (WRI), Larami, Wyoming, в качестве генерального подрядчика; Пенсильванский институт транспорта при Университете штата Пенсильвания; SRI International, Менло-Парк, Калифорния; Техасский транспортный институт в Texas A&M University — отвечающий в SHRP за поддержку и консультирование, оказываемые на протяжении всего проекта, наряду с Экспертной целевой группой A-002A, осуществлявшей регулярный обзор и экспертные замечания, советы и оценки на протяжении всего проекта...» [14, iii]. Для иллюстрации профессионального и научного уровня проведенной работы и соответствия исследованных задач и методов выше признанным актуальными со стороны наших ученых [13], приведем несколько фактов и фрагментов из первых отчетов по программе на примере 1-й части отчета по спецификации и оценке битумных вяжущих [14]:



Рисунок 1. (Схема 3.5. [14]) Отношения между эксплуатационными, реологическими и микроструктурными моделями свойств и химией битума

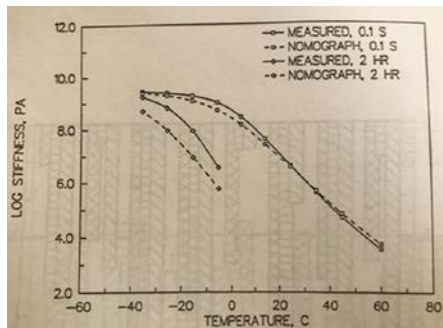


Рисунок 2. (Диаграмма 2.8. [14]). Изохронные кривые модуля жесткости при растяжении, полученные измерениями SHRP AAG-1 и прогнозными по номограмме Van Der Poel

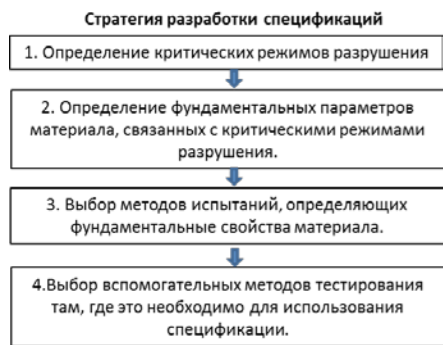


Рисунок 3. Диаграмма 2.12. Блок-схема, иллюстрирующая стратегию разработки спецификации вяжущего SHRP [15]

1. В состав авторской и экспертной групп входили такие признанные ученые и специалисты, как Хусейн Бахия и Гейл Кинг (H. U. Bahia, Gayle King), наряду с 30 другими учеными и высококвалифицированными специалистами государственных и профессиональных организаций (TRB, FHWA, AASHTO, NAPA NAA, APAC, дорожных департаментов 8 штатов и др.), Института асфальта (AI)

и 4 университетов, крупнейших профильных компаний (EXXON, Chevron, SHELL, Laval и др.).

2. При анализе и выборе соответствующих концептуальных и методических подходов разработчики использовали результаты работ не только американских авторов, но и работы зарубежных [17, 18, 19], включая и советских [20]. Общий список «референций» работы включает 99 публикаций международного уровня.

3. Подходы к обоснованию выбора теоретических и методологических основ и моделей.

3.1. Рассмотренные релевантные коллоидные модели:

- ◆ Лиофобные золи;
- ◆ Гели;
- ◆ Мицеллярные растворы;
- ◆ Микроэмульсии;
- ◆ Жидкие кристаллы. [14]

3.2. Разделы анализа и обсуждения результатов:

- Временная зависимость связана с микроструктурными параметрами;
- Спектр релаксации, связанный с микроструктурными параметрами;
- Свойства разрушения и усталости, связанные с параметрами микроструктурной модели;
- Окислительное старение, связанное с параметрами микроструктурной модели.

3.3. Сопряжение моделей (рисунок 1).

3.4. Метрологические подходы Номограммы и их недостатки

Номограммы, разработанные различными исследователями, предлагают различные способы расчета жесткости битумного вяжущего при различных температурах испытаний и временах нагружения. Первая номограмма для этой цели была разработана Ван Дер Поэлем (1954) и была использована Институтом нефти. Эта первая номограмма была позже обновлена и пересмотрена McLeod (1972) [16] для учета измерений пенетрации и вязкости. Эти номограммы дают приемлемые оценки жесткости асфальта при температурах выше

комнатной; однако оценки, полученные этими номограммами, могут иметь значительную погрешность при более низких температурах и более длительном времени нагружения, как показано на диаграмме 2.8. (рисунок 2). Учитывая низкую надежность этих номограмм и их неопределенную применимость к модифицированным битумам, было предложено более прямое измерение низкотемпературной жесткости. Стр. 31 [14].

Новая спецификация вяжущих SHRP основана на фундаментальных измерениях, полученных при температурах дорожного покрытия, репрезентативных для верхнего, среднего и нижнего диапазонов рабочих температур. Измерения соответствуют механизмам разрушений, которые возникают или доминируют при этих температурах. В ранних версиях спецификации измерения производились при двух испытательных температурах ... для прогнозирования свойств битумного вяжущего при рабочих температурах с помощью гиперболической реологической модели. Такое предсказание стало невозможным, когда потребовалось, чтобы спецификация включала как обычное, так и модифицированное битумное вяжущее. В то время как простая гиперболическая модель может быть применена для спецификации немодифицированного битума только при двух температурах испытания, она не может быть применима для многих модифицированных битумных вяжущих. Спецификация вяжущих SHRP связана с эксплуатационными свойствами, а марки битумного вяжущего предназначены для обслуживания конкретных климатических условий. Значения отклонений (шаг) спецификации от предельных значений одинаковы для всех марок (6°C), но сами допуски температурных диапазонов для марок (PG) различны и назначаются в зависимости от климатических условий эксплуатации.

Данный подход, ориентированный на приоритет фундаментальных параметров, определил и основные приоритеты в выборе доступных на тот момент видов приборно-аппаратного обеспечения, начиная со стадий пробоотбора

ГОСТ Р 57950-2017 (ИСО 6721-10:2015)  
Пластмассы. Определение механических свойств при динамическом нагружении.  
Часть 10. Комплексная вязкость при сдвиге с использованием колебательного реометра с параллельными пластинами  
Plastics. Determination of dynamic mechanical properties. Part 10. Complex shear viscosity using a parallel-plate oscillatory rheometer

ОКС 83.080  
Дата введения 2018-06-01  
Предисловие  
1. ПОДГОТОВЛЕН Автономной некоммерческой организацией "Центр нормирования, стандартизации и классификации композитов" при участии Объединения юридических лиц "Союз производителей композитов" на основе официального перевода на русский язык англоязычной версии указанного в пункте 4 стандарта, который выполнен ТК 497  
2. ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 497 "Композиты, конструкции и изделия из них"  
3. УТВЕРЖДЕН и ВВЕДЕН в ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 ноября 2017 г. N 1749-ст  
4. Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 6721-10:2015\* "Пластмассы. Определение механических свойств при динамическом нагружении. Часть 10. Комплексная вязкость при сдвиге с использованием колебательного реометра с параллельными пластинами" (ISO 6721-10:2015 "Plastics - Determination of dynamic mechanical properties - Part 10: Complex shear viscosity using a parallel-plate oscillatory rheometer", MOD) путем изменения содержания отдельных структурных элементов, которые выделены вертикальной линией, расположенной на полях напротив соответствующего текста, а также исключения отдельных структурных элементов, ссылок и/или дополнительных элементов.

Рисунок 4. Динамическая реометрия принята как стандарт международно уровня

и пробоподготовки, оценки реологических параметров и старения до средств прогнозирования интегральных эксплуатационных свойств материалов.

3.5. Приборно-методическое обеспечение.

Одним из главных результатов Стратегической программы дорожных исследований (SHRP) стал метод проектирования смесей Superpave, который был нацелен на замену методов Хвима и Маршалла (Hveem и Marshall), сохраняя при этом общий для методов Хвима и Маршалла объемный анализ, ставший основой и для метода проектирования смесей Superpave. При этом система Superpave связывает выбор асфальтового вяжущего и заполнителя в процессе проектирования смеси с учетом транспортных нагрузок и климатических условий. Уплотнительные устройства из уплотнителей Hveem и Marshall были заменены гираторным уплотнителем, и усилие уплотнения в конструкции смеси было привязано к проектным параметрам транспортной нагрузки. Не менее важными результатами, применительно к битумным вяжущим, стало введение лабораторных процедур, моделирующих процессы кратко- и долгосрочного «старения» (RTFO и PAV) и довольно

репрезентативной оценки реологических параметров вяжущего в различных температурных режимах (DSR и BBR) на основе методов динамической реометрии, с 70-х годов активно применяемых и стандартизованных в сфере спецификации полимерных материалов, а в наше время — и в формирующейся системе стандартизации в сфере полимерных композитов (рисунок 4).

### ДРУГИЕ КОМПОНЕНТЫ СТРАТЕГИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ ДОРОЖНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ (SHRP)

Для целостного и системного изучения методологии Superpave необходимо рассмотрение и других результатов SHRP, прежде всего — механико-эмпирического подхода к проектированию конструкций дорожных одежд, в которых эксплуатируются, в том числе, и асфальтобетонные покрытия.

Механико-эмпирический подход к проектированию дорожных покрытий [21]

Этот подход представляет собой новую парадигму проектирования и анализа дорожных одежд, основанную на инженерной механике и подтвержденную обширными данными дорожных испытаний, и значительно отличается от методов проектирования дорожных одежд, применявшихся с начала 1960-х по 1993 год в соответствии с Руководствами Американской ассоциации государственных дорожных и транспортных чиновников (AASHTO) по проектированию дорожных конструкций, основывавшихся на ограниченных эмпирических уравнениях обеспечения эксплуатационных свойств, разработанных на дорожных испытаниях AASHTO в конце 1950-х годов [22]. Необходимость и преимущества механистически обоснованной процедуры проектирования дорожных покрытий были признаны, когда в 1986 году было принято Руководство AASHTO по проектированию дорожных конструкций и Совместная целевая группа AASHTO по дорожному покрытию (JTGFOP) инициировала усилия по разработке Руководства по механико-эмпирическому подходу к проектированию дорожных покрытий MEPDG.

Эмпирический и механико-эмпирический подходы к проектированию конструкций дорожных одежд являются двумя основными методами, широко изученными и используемыми в Соединенных Штатах до сих пор.

Эмпирический метод проектирования дорожного покрытия AASHTO Многие процедуры проектирования дорожного покрытия используют эмпирический подход. Взаимосвязи между входными данными проектирования, такими как нагрузки, материалы, конфигурации слоев и окружающая среда, а также разрушение дорожных одежд были получены с помощью инженерного опыта, экспериментальных наблюдений или комбинации того и другого. Руководство по проектированию конструкций дорожных покрытий (AASHTO) [Guide for design of pavement structures, Washington D. C.: AASHTO, 1993] является основным документом, используемым сегодня для проектирования новых и восстановленных дорожных покрытий в Соединенных Штатах. Национальный анализ проектирования автомобильных дорог Федерального управления автомобильных дорог (FHWA) 1995–1997 годов показал, что более 80% штатов используют руководства AASHTO 1972, 1986 или 1993 годов [FHWA, Status of pavement design in the US, <http://www.fhwa.dot.gov/pave-ment/dgit/dgitsurv.cfm>, 2011–04–01.]. Все версии руководства по проектированию AASHTO основаны на эмпирических моделях, взятых из полевых эксплуатационных данных, полученных на дорожных испытаниях AASHTO в конце 1950-х годов, расположенных к северо-западу от Оттавы, штат Иллинойс, примерно в 80 милях к юго-западу от Чикаго, а также на некоторой теоретической поддержке коэффициентов слоя и коэффициентов дренажа. Общая эксплуатационная пригодность дорожного покрытия количественно определяется текущим индексом эксплуатационной пригодности (PSI), составным показателем производительности, сочетающим трещины, ямочные работы, колеи и другие проблемы.

Шероховатость является доминирующим фактором, определяющим PSI, и поэтому является основным компонентом показателя эффективности дорожного покрытия. Различные версии руководства AASHTO хорошо послужили отрасли, но имеют недостатки из-за некоторых ограничений дорожных испытаний AASHTO:

- (1) Сегодняшние транспортные нагрузки намного выше, чем шесть десятилетий назад;
- (2) Восстановленные покрытия не контролировались;
- (3) В дорожные испытания были включены только одно климатическое состояние и один тип земляного полотна;
- (4) Изучались только горячие асфальтобетонные смеси и цементобетонные смеси;
- (5) Испытываемые покрытия не включали дренажные системы;
- (6) Было проведено только 2 года мониторинга, а не весь срок службы дорожного покрытия каждой секции (некоторые секции, однако, вышли из строя в течение 2 лет).

*Механико-эмпирический подход к проектированию дорожных одежд (MEPD)*

Сразу после разработки Руководства по проектированию в 1986 г. (AASHTO Design 1986) AASHTO инициировала необходимость разработки механистического анализа дорожных одежд и процедур проектирования, пригодных для использования в будущих версиях руководства AASHTO. Проект NCHRP 1-26, Калиброванные процедуры механистического структурного анализа дорожных покрытий, был нацелен на обеспечение базовой основы для будущей разработки механико-эмпирического (M-E) метода проектирования дорожных одежд [Thompson, Calibrated mechanistic structural analysis procedures for pavements, Urbana-Champaign: University of Illinois Construction Technology Laboratories, 1990]. При проектировании дорожного покрытия ответными реакциями могут быть напряжения, деформации и прогибы внутри конструкции дорожного покрытия, а физическими причинами — нагрузки (как гидрогеологические и климатические,

так и дорожные) и свойства материала конструкции дорожного покрытия. Взаимосвязи между этими явлениями и их физическими причинами обычно описываются с помощью математических моделей. Наряду с этим механистическим подходом эмпирические модели используются при определении взаимосвязей между расчетными напряжениями, деформациями и прогибами, а также разрушением дорожного покрытия.

В результате может быть выведено количество циклов нагружения до разрушения. Этот подход называется проектированием на механико-эмпирической основе. Когда национальная кооперативная программа NCHRP 1-26 была завершена, несколько типов подходов к проектированию на механико-эмпирической основе были разработаны, и в 2002 году Американская ассоциация дорожного строительства выпустила «Руководство по механико-эмпирическому проектированию конструкции новых и реконструируемых дорожных одежд» (MEPDG) [ARA Inc., Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures, Champaign, 2004], Департамент транспорта Вашингтона (WSDOT) — Руководство по покрытиям (WSDOT Pavement Guide, <http://training.ce.washington.edu/WSDOT/>, 2011-04-01), а Департамент транспорта штата Миннесота (MN/DOT) — компьютерную программу MnPAVE [<http://www.dot.state.mn.us/app/mnpave/index.html>, 2011-04-01]. Программа покрытий с длительным сроком эксплуатации (The long term pavement performance — LTPP), поддержанная Конгрессом США, стартовала в 1987 году, в рамках Стратегической программы дорожных исследований (SHRP). В течение 20 лет в рамках программы LTPP осуществлялся мониторинг почти 2500 наблюдательных участков дорожного покрытия в США и Канаде, представляющих широкий спектр климатических и гидрогеологических условий на континенте. С течением времени исследователи получили представление о том, как и почему они работают так, как они работают, что дает ценные выводы о том, как



Рисунок 5. Распределение наблюдательных участков дорожного покрытия LTPP [23]

строить лучшие, более долговечные и экономически эффективные покрытия.

Первоначальная цель LTPP состояла в том, чтобы получить данные для использования при оценке существующих методов проектирования и разработке новых. Разработка Руководства по механико-эмпирическому проектированию дорожных одежд (MEPDG) потребовала детальной информации о дорожных покрытиях, расположенных по всей стране и представляющих широкий диапазон нагрузок, климатических и гидрогеологических условий, с различным структурным составом. База данных LTPP представляла такие долгосрочные данные об эксплуатационных параметрах для сотен асфальтобетонных, бетонных и восстановленных участков дорожного покрытия, которые использовались при национальной калибровке.

Фактически, разработка MEPDG не могла бы быть завершена без сбора национального объема данных, накопленных в ходе исследований LTPP [23]. Все транспортные нагрузки, заложенные в MEPDG, например, были выведены из базы данных LTPP, полученных с помощью взвешивания в движении (WiM) на участках, расположенных по всей территории Соединенных Штатов и Канады, и все модели деформаций и ровности в MEPDG были откалиброваны с использованием данных LTPP. Кроме того, данные LTPP бесценны для использования дорожными агентствами всех штатов для целей проверки и калибровки их местных показателей.

Чтобы удовлетворить эту потребность, Совместная целевая группа AASHTO по покрытиям

Таблица 2

Период	№ в списке источников	Примечания к источникам
До 1988г. 1988г.-1994г.	[22]	Mechanistic-empirical pavement design guide (MEPDG): a bird's-eye view Qiang Li, Danny X. Xiao, Kelvin C. P. Wang, Kevin D. Hall, Yanjun Qiu / Journal of Modern Transportation Volume 19, June 2, January 2011, Page 114-133 Очень профессиональный, системный и объективный обзор, выполненный совместным коллективом ученых из американских (University of Delaware, University of Arkansas) и китайских (Southwest Jiaotong University) университетов, затрагивает историю подготовки и развития LTPP, SHRP и MEPD в США в период до 2011 г.
1994г.-2001г.	[24]	Специальный доклад Совета по транспортным исследованиям 260. В докладе была кратко описана история метода проектирования смесей Superpave с последующим общим описанием самого метода.
2002-2011г.	[22], [25]	Специальный отчет Совета по транспортным исследованиям (TRB) Федеральная роль в исследованиях и технологиях автомобильных дорог (TRB, 2001, Special Report 261: The Federal Role in Highway Research and Technology. National Research Council, Washington, D.C., 2001) определил цели, исследовательскую повестку дня, административную структуру и административные потребности Новой Стратегической программы дорожных исследований.

в сотрудничестве с Национальной кооперативной программой исследований автомобильных дорог (NCHRP) и Федеральным управлением автомобильных дорог (FHWA) спонсировала разработку процедуры проектирования дорожных одежд M-E в рамках проекта NCHRP 1-37A. Ключевой целью проекта NCHRP 1-37A стала разработка Руководства 2002 года по проектированию новых и восстановленных дорожных одежд. Этап II состоял в разработке руководства по проектированию, в котором использовались существующие механистические модели и данные, отражающие современное состояние проектирования дорожных покрытий. Это руководство должно было охватить все новые (включая реконструкцию полос движения) и восстановительные вопросы проектирования, а также обеспечить обоснованную базу для проектирования всех типов дорожных одежд. Механико-эмпирическое руководство по проектированию дорожных покрытий (MEPDG), как оно теперь называется, было завершено в 2004 году и выпущено для ознакомления и оценки профессиональным сообществом. Официальный анализ результатов проекта 1-37A NCHRP был проведен NCHRP в рамках проекта 1-40A. Этот анализ привел к ряду улучшений, многие из которых были включены в MEPDG в рамках проекта NCHRP 1-40D. Проект 1-40D привел к появлению версии 1.0 программного обеспечения MEPDG и обновленного руководства по проектированию. Версия 1.0 программного обеспечения была представлена в апреле 2007 года NCHRP, FHWA и AASHTO для дальнейшего рассмотрения в качестве временного стандарта AASHTO, с продолжением работ над последующими

версиями программного обеспечения. Одновременно была сформирована группа государственных учреждений, назначаемых ведущими штатами, для обмена знаниями о MEPDG и содействия его внедрению. Ведущие штаты и другие заинтересованные учреждения приступили к осуществлению мероприятий по подготовке персонала, сбору исходных данных (библиотека материалов, дорожная библиотека и т.д.), приобретению испытательного оборудования и созданию полевых участков для местной калибровки. FHWA создал веб-сайт для обмена знаниями по MEPDG (<http://knowledge.fhwa.dot.gov>) ©

### ВЗАИМОСВЯЗИ СТРАТЕГИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ ДОРОЖНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ (SHRP) С ДРУГИМИ ПРОГРАММАМИ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ РАЗВИТИЯ

Для краткого анализа истоков, результатов и последствий реализации программы SHRP на различных этапах развития воспользуемся следующими публикациями и материалами открытого доступа (таблица 2). В процессе анализа результатов SHRP и принятия решения об ее продолжении в форме Второй Стратегической программы дорожных исследований (SHRP 2) в 2001 г. были сформированы и согласованы механизмы управления программой и информирования профессиональной общественности о ходе ее реализации.

*Специальный доклад Совета по транспортным исследованиям 260 «Стратегическое исследование автомобильных дорог: Спасение жизней, Сокращение заторов, Улучшение качества жизни» [23]* Данный доклад был рассмотрен группой, не являющейся авторами,

в соответствии с процедурами, утвержденными Комитетом по рассмотрению доклада, состоящим из членов Национальной академии наук, Национальной инженерной академии и Института медицины. Исследование было спонсировано Федеральным управлением автомобильных дорог Министерства транспорта США. Специальный доклад TRB260 рассматривает цели, исследовательскую повестку дня, административную структуру и административные потребности новой программы стратегических исследований автомобильных дорог. После обширной работы с дорожным сообществом комитет рекомендовал создать Будущую Стратегическую программу дорожных исследований (F-SHRP). F-SHRP будет включать в себя четыре направления исследовательской программы: ускорение обновления американских автомобильных дорог; значительное повышение безопасности дорожного движения; обеспечение системы автомобильных дорог с предсказуемым временем в пути; обеспечение пропускной способности автомобильных дорог в поддержку экономических, экологических и социальных целей страны. Комитет рекомендовал, чтобы F-SHRP управлялась заслуживающей доверия независимой организацией, способной управлять крупномасштабной контрактной исследовательской программой таким образом, чтобы обеспечить высочайшее качество исследований. Первоначальная программа SHRP управлялась Национальными академиями именно по этим причинам. Комитет рекомендовал финансировать F-SHRP в размере 75 миллионов долларов в год за счет 0,25-процентного изъятия средств федеральной помощи дорожным фондам, распределенных в соответствии



со следующим законодательством о наземном транспорте. По рекомендации комитета Американская ассоциация государственных дорожных и транспортных чиновников (AASHTO) профинансировала разработку детальных планов исследовательских программ. В июне 1998 года Конгресс Соединенных Штатов принял Закон о транспортном равенстве для 21-го века (TEA-21). Этот законопроект реавторизовал федеральную программу помощи шоссейным дорогам, поручив Совету по транспортным исследованиям (TRB) «провести исследование для определения целей, задач, программы исследований и проектов, административной структуры и финансовые потребности в новой программе стратегических исследований автомобильных дорог для замены программы, установленной в соответствии с [разделом Кодекса Соединенных Штатов, утвердившим первую программу SHRP] или аналогичным образом» (Transportation Equity Act for the 21st Century, Public Law 105-178, Section 5112, "Study of a Future Strategic Highway Research Program"). Комитет истолковал это поручение как подразумевающее, что новая программа должна была следовать модели проведения исследований автомобильных дорог, которая была сформирована со времени первой программы (SHRP), санкционированной Конгрессом в 1987 году. Эту модель можно охарактеризовать как целенаправленную, ограниченную по времени, управляемую программу, предназначенную для дополнения существующих исследовательских программ по шоссейным дорогам... Для выполнения этого поручения Конгресса Совет по транспортным исследованиям (TRB) учредил под председательством Майкла Уолтона (C. Michael Walton) из Техасского университета в Остине Комитет лидеров дорожного сообщества по изучению будущей Стратегической программы исследований автомобильных дорог (F-SHRP), цель которого состояла в том, чтобы предложить исследовательскую программу, направленную на стратегические потребности автомобильных дорог; поэтому члены комитета были

выбраны за их продемонстрированную способность обеспечивать стратегическое лидерство в государственных учреждениях, фирмах частного сектора, академических кругах, а также ассоциациях пользователей и заинтересованных сторон в рамках сообщества автомобильных дорог. Это исследование было проведено в тесном сотрудничестве с Координационным комитетом по исследованиям и технологиям Национального исследовательского совета (NRC), который проводит постоянный обзор научно-технических программ FHWA. Доклад RTCC The Federal Role in Highway Research and Technology (TRB2001) представляет собой полезный контекст для данного исследования, включая обзор дорожного сектора, научно-технических программ в области автомобильных дорог и национальных приоритетов в области автомобильных исследований. В дополнение к членам RTCC, которые также были членами комитета F-SHRP, более 10 человек и должностных лиц работали в RTCC во время разработки отчета «viii Стратегическое исследование автомобильных дорог: Спасение жизней, Сокращение заторов, Улучшение качества жизни». Доклад был рассмотрен в черновом виде отдельными лицами, отобранными с учетом их различных точек зрения и технических знаний, в соответствии с процедурами, утвержденными Комитетом по рассмотрению докладов NRC. Цель этого обзора состоит в том, чтобы предоставить откровенные и критические комментарии, которые помогут учреждению сделать отчет как можно более обоснованным и обеспечить соответствие отчета институциональным стандартам объективности, доказательности и соответствия задачам исследования. Комментарии и рецензии к проекту рукописи остаются конфиденциальными для защиты эффективности процесса обсуждения. Хотя эти рецензенты представили много конструктивных замечаний и предложений, их не попросили одобрить выводы и заключения доклада, а также не ознакомили с окончательным проектом до его опубликования.

Обзор этого отчета курировали Александр Х. Лен, Потомак, Мэриленд, и Лестер А. Хоэл, Университет Вирджинии, Шарлотсвилл. По поручению Национального исследовательского совета (NRC) они отвечали за то, чтобы независимая экспертиза этого доклада проводилась в соответствии с институциональными процедурами и чтобы все замечания по обзору были тщательно рассмотрены. Ответственность за окончательное содержание настоящего доклада полностью лежит на авторском комитете и учреждении. Сюзанна Шнайдер, помощник исполнительного директора TRB, руководила процессом рассмотрения отчета. Доклад был отредактирован и подготовлен к публикации под руководством Нэнси Аккерман, директора отдела отчетов и редакционных служб.

*Краткие выводы Специальных отчетов Совета транспортных исследований № 260 «Стратегическое исследование автомобильных дорог: Спасение жизней, Сокращение заторов, Улучшение качества жизни» [23] и № 261 «Федеральная роль в исследованиях и технологиях автомобильных дорог» [24]*

*Десятки тысяч погибших и миллионы раненых каждый год на американских автомагистралях; разрушающиеся мосты и тротуары; многочасовые заторы и задержки из-за дорожно-строительных работ, аварий и других инцидентов; недостаточные возможности для удовлетворения потребностей растущего населения и расширяющейся экономики — эти критические проблемы дорожного транспорта требуют решения на пороге вступления в третье тысячелетие. Именно на решение этих проблем будет направлена представленная в настоящем докладе Новая Стратегическая программа дорожных исследований (F-SHRP).*

Описанные выше проблемы носят повсеместный характер и оказывают широкое воздействие на экономику страны и качество ее жизни. Первая Стратегическая программа исследования автомобильных дорог (SHRP), проведенная в конце 1980-х и начале 1990-х годов, была сосредоточена на нескольких критических инфраструктурных и эксплуатационных проблемах, с которыми сталкиваются государственные транспортные агентства. Учитывая успех SHRP и настоятельную необходимость найти решения для проблем, угрожающих шоссе системы, Конгресс поручил в 1998 году Совету транспортных исследований (TRB) «провести исследование для определения целей, задач, научных исследований и проектов, административной структуры и финансовых потребностей для Новой Программы стратегических дорожных исследований (Future-SHRP)». Соответственно, совет сформировал комитет из руководителей государственного, частного и научного секторов дорожного сообщества для подготовки настоящего доклада, в результате работы которого были определены стратегические проблемы автомобильных дорог и перспективные направления исследований и технологий для решения этих проблем. Вместо подробных планов исследований дается общее руководство для тех, кому может быть поручено разработать такие планы. Комитет рекомендует провести промежуточный этап планирования между публикацией настоящего доклада и началом исследовательской программы. В том случае, если такие промежуточные усилия не могут быть осуществлены, это должно быть первым шагом, сделанным после того, как исследование будет профинансировано. Настоящий отчет предназначен для того, чтобы такие усилия по планированию были сосредоточены на выявленных стратегических потребностях, не ограничивая чрезмерно исследователей и руководителей исследований в изучении и разработке наиболее перспективных исследовательских задач и технологий.

*В рамках F-SHRP был разработан систематический метод анализа потребностей в обновлении и оценки альтернативных стратегий и технологий, а также разработаны инструменты, необходимые дорожным агентствам для реализации новой модели обновления автомобильных дорог. Исследования рекомендованы в таких областях, как материалы и оборудование; инновационные методы управления и заключения контрактов; анализ и методы безопасности рабочей зоны и дорожного движения; показатели эффективности; передовые информационные технологии.*

*Ожидаемые результаты*  
Внедрение результатов этого исследования приведет к экономии средств пользователей несколькими способами:

- ♦ более ровные покрытия приведут к снижению износа транспортных средств и расхода топлива;
- ♦ более быстрое проведение ремонтов будет означать меньшее ограничение доступа к коммерческим и жилым районам;
- ♦ быстрые, менее разрушительные методы реконструкции и ремонта сократят задержки движения в из-за производства работ;
- ♦ сокращение задержек будет достигнуто не только в ходе восстановительных работ, как следствие более эффективного управления рабочими зонами, но и в течение всего срока службы объектов за счет использования долгоживущих материалов и методов.

В исследовании, проведенном в 68 городских районах, стоимость задержки движения для

пользователей автомобильных дорог оценивалась примерно в 78 миллиардов долларов в 1999 году. Около 54% этих задержек было вызвано нерегулярными инцидентами, такими как строительные работы, выведенные из строя транспортные средства и аварии. Оценки потенциального воздействия, приведенные в докладе, призваны служить количественными экономическими показателями степени проблем, решаемых предлагаемым исследованием, и, соответственно, величины потенциальных выгод, связанных даже с небольшими улучшениями, полученными в результате исследования. Эти оценки не подразумевают, что они являются единственными или наиболее важными потенциальными выгодами исследования, и не являются утверждением о том, что будет достигнут определенный уровень достижений. Более точные оценки конкретных видов и величины выгод, которые могут быть получены в результате применения результатов предлагаемого исследования, после того, как будут определены конкретные реализуемые задачи и показатели. Тем не менее, если описанные в отчете меры позволят сократить задержки движения, связанные с инцидентами в этих городских районах, всего на 5%, то ежегодная экономия составила бы около 2,1 миллиарда долларов.

**КРАТКАЯ СПРАВКА ОБ ОРГАНАХ И МЕХАНИЗМАХ УПРАВЛЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИМИ ПРОГРАММАМИ, ПОВТОРНО ОДОБРЕННЫХ КОНГРЕССОМ США**

*Национальная кооперативная программа дорожных исследований (NCHRP)*

Систематические, хорошо продуманные и реализуемые исследования являются наиболее эффективным способом решения многих проблем, стоящих перед администраторами и инженерами государственных департаментов транспорта (DOTs). Часто проблемы автомобильных дорог представляют местный или региональный интерес и лучше всего могут быть изучены государственными точками индивидуально или в сотрудничестве с их государственными

университетами и другими центрами. Однако ускоряющийся рост автомобильных перевозок приводит ко все более сложным проблемам, представляющим широкий интерес для дорожных властей. Эти проблемы лучше всего изучать с помощью скоординированной программы совместных исследований. Признавая эту необходимость, руководство Американской ассоциации государственных дорожных и транспортных чиновников (AASHTO) в 1962 году инициировало целевую национальную программу исследований автомобильных дорог с использованием современных научных методов — Национальную кооперативную программу исследований автомобильных дорог (NCHRP). NCHRP поддерживается на постоянной основе за счет средств участвующих штатов — членов AASHTO и получает полное понимание и поддержку Федерального управления автомобильных дорог (FHWA), Министерства транспорта Соединенных Штатов в соответствии с Соглашением № 693JJ31950003. Совет по транспортным исследованиям (TRB) Национальных академий наук, техники и медицины был приглашен AASHTO для управления исследовательской программой из-за признанной объективности TRB и понимания современной исследовательской практики. TRB уникально подходит для этой цели по многим причинам: TRB поддерживает обширную структуру комитетов, из которых могут быть взяты компетенции по любому вопросу дорожного транспорта; TRB обладает возможностями связи и сотрудничества с федеральными, государственными и местными правительственными учреждениями, университетами и промышленностью; Отношения TRB с Национальными академиями — это гарантия объективности, и TRB поддерживает штат специалистов по вопросам автомобильных перевозок на постоянной основе, чтобы доводить результаты исследований непосредственно до тех, кто в состоянии их использовать. Программа разрабатывается на основе исследовательских потребностей, выявленных главными администраторами и другими сотрудниками

дорожных и транспортных департаментов, комитетами AASHTO и FHWA. Наиболее достойные темы выбираются Специальным комитетом AASHTO по исследованиям и инновациям (НИОКР), и каждый год рекомендации по НИОКР предлагаются Совету директоров AASHTO и Национальным академиям. Исследовательские проекты для решения этих тем определяются NCHRP, а квалифицированные исследовательские агентства отбираются из представленных предложений. Администрирование и надзор за исследовательскими контрактами являются обязанностями Национальных академий и TRB. Потребности в исследованиях автомобильных дорог многочисленны, и NCHRP может внести значительный вклад в решение проблем автомобильных перевозок, представляющих взаимный интерес для многих ответственных групп. Эта программа, однако, призвана дополнять, а не заменять или дублировать другие исследовательские программы по шоссе дорогам.

#### **Совет по транспортным исследованиям (TRB)**

Совет по транспортным исследованиям (Transportation Research Board) является подразделением Национального исследовательского совета, обслуживающим Национальную академию наук и Национальную инженерную академию. TRB был создан в 1920 году путем объединения трех комитетов, обеспечивающих поддержку и распределение финансирования на исследования в сфере транспорта. В настоящее время TRB объединяет более 200 комитетов и тематических комиссий, нацеленных на достижение инновационного лидерства и прогресса в сфере транспорта за счет координации исследований и информационного обмена, осуществляемых «целенаправленно, междисциплинарно и мультимодально». TRB является одним из главных подразделений Национального исследовательского совета (National Research Council) — частной некоммерческой организации, являющейся уполномоченным агентством трех Национальных академий

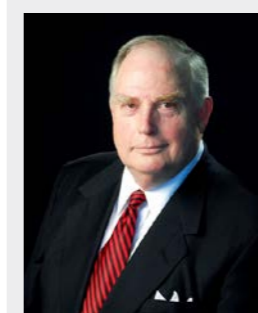
(Академии наук, Академии инженеров и Института Медицины) в предоставлении услуг правительству, обществу, научным и инженерным объединениям. Указанные академии осуществляют и совместный административный надзор за деятельностью Национального исследовательского совета. Миссия TRB заключается в содействии инновациям и прогрессу в области транспорта путем стимулирования и проведения исследований, содействия распространению информации и поощрения внедрения результатов исследований. В разнообразной деятельности Совета ежегодно участвуют более 4000 инженеров, ученых и других исследователей и практиков в области транспорта из государственного и частного секторов и академических кругов, которые вносят свой вклад в общественные интересы.

Привлекая национальные и зарубежные ресурсы, TRB предоставляет государству и обществу широкий набор услуг:

1. Информационный обмен (Ежегодный международный форум с участием примерно 3000 специалистов и руководителей; около 70 конференций и семинаров по вопросам транспортного сообщества; более 200 постоянно действующих общественных комитетов, объединяющих более 4000 специалистов на безвозмездной основе; специализированная сеть интернет-ресурсов).
2. Управление исследовательскими программами, результаты которых зачастую становятся базой для принятия соответствующих профессиональных стандартов. Среди них: а. «Стратегическая программа исследований автострад» (SHRP), финансируемая Американской ассоциацией руководителей государственных дорожных и транспортных организаций (AASHTO) и Федеральной дорожной администрацией (FHWA), создавшая основу для стандартов строительства дорог с высокими транспортными нагрузками (Supergrave); б. «Кооперативная программа исследований транзита»;

- с. «Кооперативная программа исследований аэропортов»;
- д. «Национальная программа исследований перевозок»;
- е. «Кооперативная программа исследования улучшенных материалов»;
- ф. «Объединенная программа исследований безопасности грузовых и автобусных перевозок»;
- г. «Анализ внедрения перспективных инноваций».

3. Анализ вопросов национальной транспортной политики для федеральных и других программ. С 1982 года по запросам Конгресса, Правительства и органов исполнительной власти было выполнено более 100 исследований по национально значимым вопросам транспортной политики, например, противодействие терроризму на транспорте, регулирование размеров большегрузных автомобилей и веса грузов, пропускные способности аэропортов, использование транзита, высокоскоростные железные дороги, экология и т.д. Публикации и сбор исследовательской информации по всему миру. Обладая одной из крупнейших специализированных библиотек, TRB публикует ежегодно более 200 изданий, отражающих результаты наиболее передовых разработок в мире и ход выполнения исследований по основным национальным программам. Структура управления TRB развивается и модифицируется в соответствии с вновь возникающими запросами общества. Исполнительный комитет TRB, члены которого утверждаются председателем Национального исследовательского совета (NRC) из числа ведущих руководителей государственных и частных транспортных организаций и работников академий, выполняют наблюдательные функции по направлениям деятельности NRC. Исполнительный офис TRB осуществляет оперативное управление программами и направлениями деятельности, наблюдательными комитетами и тематическими комиссиями, осуществляет проверку отчетов, кадровое и вспомогательное обеспечение работы Исполнительного комитета и его



**Председатель  
Руководящего  
комитета  
программы  
F-SHRP  
доктор  
Майкл Уолтон  
(C. Michael  
Walton)**

Профессор и глава Столетней кафедры инженерных наук и строительства Эрнеста Х. Кокрелла в Техасском университете в Остине (UT). Кроме того, он имеет академическое звание в Школе общественных наук Линдона Б. Джонсона. Вот уже более 40 лет он занимается разработкой транспортных систем и анализом политики. Член Национальной инженерной академии. В прошлом он был председателем и членом Исполнительного комитета Совета по транспортным исследованиям (TRB). В качестве председателя Национального исследовательского совета (NRC) отдела TRB он является ex-officio членом Руководящего совета NRC. Недавно он был назначен губернатором Техаса и избран председателем Комитета 2030. Было установлено, что комитет «голубой ленты», состоящий из экспертов в области бизнеса и транспорта, разработал всеобъемлющую оценку транспортных потребностей Техаса до 2030 года. В других профессиональных общественных делах он в прошлом был председателем правления Американской ассоциации дорожных и транспортных строителей (ARTBA). Кроме того, он является одним из основателей Американского общества интеллектуального транспорта (ITS) и в прошлом председателем Совета директоров. Он был членом или председателем ряда национальных исследовательских групп, в том числе уполномоченных Конгрессом и другими членами Национального исследовательского совета. Он является президентом Совета управляющих Института транспорта и развития Американского общества гражданских инженеров (ASCE) и членом многих других технических/профессиональных организаций, таких как Институт инженеров транспорта. Доктор Уолтон внес свой вклад в более чем 400 публикаций в области ITS, грузовых перевозок и транспортной инженерии, планирования, политики и экономики, а также выступил с несколькими сотнями технических презентаций. Он был старшим редактором или автором различных технических справочников и руководств, а также членом редколлегии нескольких международных журналов. В настоящее время доктор Уолтон имеет исследовательские или консалтинговые отношения примерно с 30 штатами США, несколькими инженерными консалтинговыми фирмами и является членом нескольких Советов директоров как государственных, так и частных компаний.

Доктор Уолтон обладает множеством наград и званиями. Он был избран Выдающимся членом Американского общества гражданских инженеров и был избран членом инаугурационного класса ITS Американского Зала славы ITS. В 2006 году он получил Почетную докторскую степень в Нагойском технологическом институте. Он получил премию Совета университетских транспортных центров (CUTC) за выдающийся вклад в университетское транспортное образование и научные исследования. Другие награды включают премию «Выдающиеся проекты и лидеры» (OPAL) от Американского общества инженеров-строителей за признание пожизненного совершенства в продвижении гражданского инженерного образования; назван Американской ассоциацией дорожных и транспортных строителей в числе 100 лучших специалистов частного сектора в области транспортного проектирования и строительства 20-го века. Эта честь присуждается за «выдающиеся индивидуальные достижения, инновации и лидерство в области проектирования и строительства в сфере транспорта»; в 2000 году — Премия Джорджа С. Барлетта, присуждаемая в знак признания выдающегося вклада в развитие автомобильных дорог и считаемая одной из самых высоких наград в области автомобильных перевозок. Американское общество гражданских инженеров (ASCE) удостоило его нескольких наград, включая лекцию Фрэнсиса Тернера 1999 года за вклад в транспортные исследования, образование и практику, премию Джеймса Лори 1992 года за вклад в развитие транспортной инженерии; премию Харланда Бартоломью 1987 года за вклад в повышение роли гражданской инженерии в городском планировании и развитии; премию Фрэнка М. Магистра транспортной инженерии 1987 года за инновации в планировании транспортных объектов. Совет по транспортным исследованиям Национальных академий вручил доктору Уолтону в 1998 году премию W.N. Carey, Jr. Distinguished Service Award, которая является одной из его высших наград в знак признания выдающегося лидерства в поддержке транспортных исследований; другие включают Выдающуюся лекторскую работу Томаса Б. Дина. Американская ассоциация дорожных и транспортных строителей (ARTBA) присудила ему премию S.S. Steinberg Award в знак признания его выдающегося вклада в транспортное образование; Институт инженеров транспорта (ITE) присудил ему премию Wilbur S. Smith Distinguished Transportation Educator Award в знак признания выдающегося вклада в транспортную профессию, связав академические исследования с реальной практикой транспорта. В 2011 году доктор Уолтон получил Мемориальную премию Теодора М. Мэтсона от Института инженеров транспорта в знак признания его выдающегося вклада в развитие этой профессии в области транспортной инженерии.

подкомитетов, организационную поддержку мероприятий TRB и его издательской деятельности.

Финансирование TRB осуществляется из следующих источников:

1. Финансирование целевых исследовательских программ TRB (см. выше), которое осуществляется из федеральных и региональных бюджетных источников, профессиональных организаций и корпораций (например, GM профинансировала программу исследований о влиянии большегрузного транспорта на автострады).

2. Бюджетные взносы федеральных (Федеральная авиационная администрация, Федеральная автодорожная администрация, Федеральная администрация безопасности дорожного движения, Федеральная администрация железных дорог, Федеральная администрация транзитных сообщений, Федеральная администрация безопасности на автострадах, Администрация исследований и инновационных технологий, Корпус армейских инженеров, Береговая охрана США) и региональных (Дорожные департаменты штатов) государственных организаций и учреждений.

3. Спонсорские взносы общественных и частных организаций (например, Ассоциация железных дорог, Американская ассоциация общественного транспорта, Американский институт транспортных исследований).

4. Членские взносы частных специалистов и доходы от издательско-информационной деятельности. О социально-экономической значимости программы красноречиво говорит биография и социальный статус одного из ее руководителей (см. стр. 63).

**Средства и источники информации**

Исследовательские отчеты описывают ход исследований в рамках конкретных проектов и представляют результаты исследовательских групп. Все исследовательские отчеты SHRP 2 доступны на различных интернет-ресурсах официальных дорожных органов США: U.S. Department

of Transportation, Federal Highway Administration, AASHTO, Transportation Research Board, U.S. Department of Transportation [https://www.fhwa.dot.gov/goshrp2] или [http://shrp2.transportation.org/Pages/Default.aspx], а около половины также напечатаны и доступны в книжном магазине TRB.

- Отчеты и краткие сообщения описывают результаты отдельных исследовательских проектов или содержат обновленную информацию о проектах, спонсируемых второй Стратегической программой дорожных исследований TRB (SHRP 2);

- Исследовательские отчеты исследуют проведение исследований в рамках конкретного проекта и представляют результаты исследовательской группы. Все исследовательские отчеты SHRP 2 доступны в Интернете, а около половины также напечатаны и доступны в книжном магазине TRB;

- Краткие отчеты по проекту, как правило, 4–8 страниц, обобщают результаты исследований, проведенных в рамках конкретного проекта. Краткие отчеты по проекту могут быть опубликованы в печатном виде по мере необходимости и на веб-сайте SHRP 2 до того, как будет доступен полный отчет;

- Программные сводки содержат краткий обзор прогресса во всей программе SHRP 2 и готовятся по мере необходимости для встреч и по просьбе спонсоров. Они размещены на сайте SHRP 2;

- Письменные отчеты периодически готовятся консультативными комитетами Национального исследовательского совета;

- Ежегодные отчеты содержат обновленную информацию о достигнутом прогрессе и вехах, достигнутых SHRP 2 за этот год, например, [http://shrp2.transportation.org/Documents/home/SHRP2\_2018\_AnnualReport\_web.pdf] [https://www.fhwa.dot.gov/goshrp2/

[Content/Documents/SHRP2\\_AnnualReport\\_2017.pdf](https://www.fhwa.dot.gov/content/Documents/SHRP2_AnnualReport_2017.pdf)

- Основные этапы SHRP 2 освещают значительные разработки проектов, тематические исследования, лучшие практики и то, что происходит в SHRP 2 со всей страны [https://www.fhwa.dot.gov/goshrp2/News/Milestones] например: Issue 5: November 2016 SHRP2 Milestones News Brief Issue 4: SHRP2 Education Issue, May 2016 Issue 3: Round 7 Implementation Assistance Program, Round 7 Issue March 2016 Issue 2: December 2015 SHRP2 Milestones News Brief Issue 1: August 2015 SHRP2 Milestones News Brief

**Развитие Стратегических программ после принятия SHRP 2**

Для краткого обзора предметных направлений развития программы в период после 2001 г. ниже приведены фрагменты очень системного обзора, подготовленного коллективом американских и китайских университетских ученых в 2011 г., после активного изучения китайскими специалистами и подключением дорожников КНР к внедрению и развитию рассматриваемых подходов [22], а также информацию о последних результатах по наиболее актуальным вопросам, обозначенным нашими учеными, указанным в начале настоящей статьи. «Новое Руководство по механико-эмпирическому проектированию дорожных покрытий, кратко именуемое MEPDG [21], было выпущено в 2004 году в рамках проекта NCHRP 1–37A. MEPDG обеспечивает значительные потенциальные преимущества по сравнению с Руководством AASHTO 1993 года. Этот подход обеспечивает более реальную характеристику эксплуатируемых дорожных покрытий и дает единые рекомендации по проектированию общих характеристик гибких, жестких и композитных дорожных покрытий. Он также предлагает процедуры оценки существующих покрытий и рекомендации по реабилитации, дренажу и укреплению оснований. Самое главное, что его программное обеспечение:

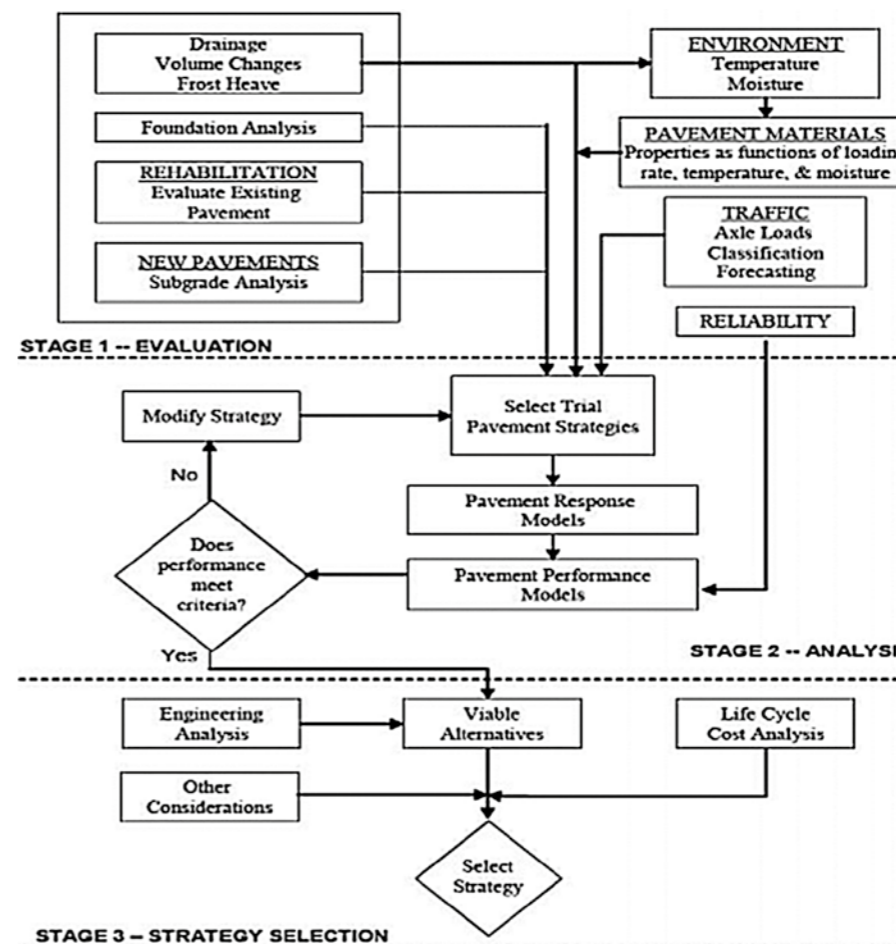


Рисунок 6. Трехстадийная схема процесса MEPDG [21]

(1) реализует комплексный подход анализа для прогнозирования состояния дорожного покрытия с течением времени (включая усталость, колеи и термические трещины в асфальтовых покрытиях, а также трещины и дефекты в бетонных покрытиях), который учитывает взаимодействие транспортных нагрузок, климата и структуры дорожного покрытия; (2) позволяет учитывать специальные нагрузки с несколькими шинами или осями; (3) обеспечивает средства для оценки изменчивости конструкции и надежности. MEPDG позволяет проектировщикам дорожных покрытий принимать более продуманные решения и использовать экономически эффективные преимущества новых материалов и функций. Программное обеспечение также может служить в качестве инструмента для анализа состояния существующих дорожных покрытий и выявления недостатков в прошлом проектировании. Подход к проектированию,

представленный в MEPDG, состоит из трех основных этапов, показанных на рисунке 6.

Этап 1 этой процедуры заключается в разработке входных значений. На этом этапе определяются потенциальные стратегии и проводится фундаментальный анализ. Кроме того, разрабатываются исходные материалы дорожных покрытий, данные о характеристиках дорожного движения и климатические данные (температура, осадки, солнечная радиация, облачный покров и скорость ветра) с метеостанций. Этап 2 включает в себя структурный анализ / анализ эффективности. Подход к анализу начинается с выбора начального пробного участка. Пробный участок анализируется постепенно с течением времени с использованием моделей реагирования дорожного покрытия на воздействие, а выходными результатами анализа являются накопленная сумма дефектов и ровность с течением времени. Таким образом, конструкция дорожного покрытия получается с помощью

итерационного процесса, в котором прогнозируемые эксплуатационные характеристики сравниваются с проектными критериями для нескольких прогнозируемых участков до тех пор, пока все проектные критерии не будут удовлетворены до заданного уровня надежности. Этап 3 процесса включает в себя оценку структурно подходящих вариантов с применением инженерного анализа и анализа затрат жизненного цикла.

**ИЕРАРХИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Иерархический подход к исходным данным проектирования — это особенность MEPDG, не встречающаяся в существующей процедуре проектирования [21], которая обеспечивает проектировщику гибкость в получении исходных данных проектирования для дизайн-проекта на основе критичности проекта и имеющихся ресурсов. Иерархический подход используется в отношении трафика, материалов и факторов окружающей среды. Исходные данные уровня 1 обеспечивают самый высокий уровень точности и будут иметь самый низкий уровень неопределенности или ошибки. Исходные данные уровня 1 обычно используются для проектирования покрытий с интенсивным движением транспорта или там, где имеются серьезные последствия для безопасности или экономики ранних разрушений. Ввод материала уровня 1 требует лабораторных или полевых испытаний, таких как испытание динамического модуля горячей смеси асфальтобетона, сбор данных спектров осевой нагрузки на конкретной площадке или неразрушающее испытание на прогиб. Исходные данные уровня 2 обеспечивают промежуточный уровень точности. Входные данные уровня 2 обычно выбираются пользователем, например, из базы данных агентства, могут быть получены из ограниченной программы тестирования или могут быть оценены с помощью корреляций. Исходные данные уровня 3 обеспечивают самый низкий уровень точности. Этот уровень может быть использован для проектирования там, где есть минимальные последствия раннего отказа, такие



Таблица 3. Проекты NCHRP, поддерживающие внедрение и принятие MEPDG [22]

Шифр проекта	Наименование проекта	Статус
NCHRP 01-37	Development of the 2002 guide for the design of new and rehabilitated pavement structures	Закончен
NCHRP 01-39	Traffic data collection, analysis, and forecasting for mechanistic pavement design	Закончен
NCHRP 01-40A	Independent review of the recommended mechanistic-empirical design guide and software	Закончен
NCHRP 01-40B	User manual and local calibration guide for the M-E pavement design guide and software	Закончен
NCHRP 01-40D	Technical assistance to NCHRP project 1-40A: versions 0.9 and 1.0 of the M-E pavement design software	Закончен
NCHRP 01-41	Models for predicting reflection cracking of hot-mix asphalt overlays	Закончен
NCHRP 01-42A	Models for predicting top-down cracking of hot-mix asphalt layers	Закончен
NCHRP 01-47	Sensitivity evaluation of MEPDG performance prediction	В работе
NCHRP 01-48	Incorporating pavement preservation into the MEPDG	В работе
NCHRP 01-50	Quantifying the Influence of geosynthetics on pavement performance	Отложен
NCHRP 09-30	Experimental plan for calibration and validation of HMA performance models for mix and structural design	Закончен

Таблица 4. Состояние научно-исследовательских проектов, связанных с MEPDG, спонсируемых Департаментом автомобильных дорог и транспорта штата Арканзас [22].

Шифр проекта	Наименование проекта	Статус
MBTC-2027	Investigation of the effect of fines on base course performance	Закончен
MBTC-2032	Development of testing protocol and correlations for resilient modulus of subgrade soil	Закончен
TRC-0302	AASHTO 2002 pavement design guide design input evaluation study	Закончен
TRC-0304	Dynamic modulus and static creep behavior of hot-mix asphalt concrete	Закончен
TRC-0402	Projected traffic loading for mechanistic-empirical pavement design guide	Закончен
TRC-0602	Development of a master plan for calibration and implementation of the M-E pavement design guide	В работе
TRC-0702	Database support for the new mechanistic-empirical pavement design guide	Закончен
TRC-0708	PCC materials input values for mechanistic-empirical pavement design guide	Закончен
TRC-0902	Validation of the enhanced integrated climate model for pavement design in Arkansas	В работе
TRC-1003	Local calibration of the MEPDG	В работе
TRC-1203	Data Preparation for Implementing DARWin-ME	Отложен

как дороги с низкой интенсивностью. Исходными данными обычно являются выбранные пользователем значения или типичные средние значения для данного региона. Национальные значения по умолчанию предоставляются в программном обеспечении MEPDG и могут использоваться в качестве исходных данных уровня 3.

### ВОЗДЕЙСТВИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Подход MEPDG полностью учитывает изменения температурных и влажностных профилей в структуре дорожного покрытия и земляном полотне в течение проектного срока службы дорожного покрытия путем включения Расширенной интегрированной климатической модели (EICM) в проектное программное обеспечение MEPDG. EICM — это одномерная связанная программа тепловлажностного потока, которая имитирует изменения поведения и характеристик материалов дорожного покрытия и земляного полотна в зависимости от климатических условий [21]. Кроме того, программное

обеспечение MEPDG предоставляет доступную базу данных из более чем 800 метеостанций Национального центра климатических данных (NCDC) по всей территории Соединенных Штатов, что позволяет пользователю выбрать данную станцию или создать виртуальные метеостанции для проектируемого объекта.

### ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Вместо использования Эквивалентной одноосной нагрузки (ESAL), как в Руководстве AASHTO 1993 года, для характеристики дорожного движения на протяжении всего расчетного срока службы дорожного покрытия MEPDG запрашивает полный спектр исходных транспортных данных для оценки величины, конфигурации и частоты дорожной нагрузки, чтобы точно определить осевые нагрузки, которые будут применяться к дорожному покрытию в каждом временном приросте процесса накопления повреждений. Данные о типичном трафике, необходимые для MEPDG,

классифицируются следующим образом [21]:

- ♦ поток грузового транспорта: в базисном году и темпы роста в проектном периоде;
- ♦ факторы регулирования грузового потока: с распределением по часам и месяцам;
- ♦ факторы распределения нагрузки на ось: спектр нагрузки и распределение классов транспортных средств;
- ♦ общий характер воздействия, например, конфигурация осей, колесная база и количество осей на грузовиках.

### ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ

Параметры материалов, необходимые для процесса проектирования, распределены на три основные группы: (1) Модель динамической деформации покрытия при использовании вводимых материалов. Модели динамической деформации

материалов дорожного покрытия связаны с модулями и коэффициентами Пуассона, используемыми для характеристики поведения слоя в рамках конкретной модели. (2) Критерии разрушения дорожного покрытия, связанные с материалом. Параметры материала, связанные с критериями разрушения дорожного покрытия, обычно связаны с некоторой мерой прочности материала (прочность на сдвиг, прочность на сжатие, модуль разрыва) или с некоторым проявлением фактического эффекта разрушения (постоянная деформация при повторной нагрузке, усталостное разрушение материалов цементобетона). (3) Другие свойства материалов [21]. К категории «других» свойств материалов относятся те, которые связаны со специальными свойствами, необходимыми для проектного решения. Примерами этой категории являются коэффициенты теплового расширения и сжатия как цементобетонных, так и асфальтобетонных смесей.

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА/ОСНОВАНИЯ

Существуют различные средства для альтернативной характеристики земляного полотна или основания, включая [21]:

- ♦ Лабораторные испытания ненарушенных или восстановленных полевых образцов, собранных в ходе геологических изысканий;
- ♦ Неразрушающие испытания существующих дорожных покрытий с аналогичными материалами земляного полотна;
- ♦ Интрузивные испытания, такие как Динамическая конусная пенетрометрия (DCP);
- ♦ Опора на опыт агентства в работе с типом грунта. В качестве основных методов определения характеристик рекомендуются лабораторные испытания и Неразрушающая динамическая дефлектометрия (NDT). Опыт агентства может и должен дополнять эти два метода.

### ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

Эксплуатационные характеристики дорожного покрытия в первую очередь связаны с функциональными и структурными характеристиками. Структурные характеристики дорожного покрытия связаны с его физическим состоянием (например, усталостные трещины и колеи для гибких дорожных покрытий, а также дефекты стыков и трещины плит для жестких сочлененных дорожных покрытий). Некоторые из этих ключевых типов дефектов могут быть предсказаны непосредственно с помощью механистических концепций и рассмотрены в процессе проектирования. Качество условий проезда является доминирующей характеристикой функциональных характеристик, измеряемой Международным индексом шероховатости (IRI). В MEPDG IRI оценивается индивидуально в течение всего периода проектирования путем включения таких проблем, как трещины, колеи, дефекты и выбоины, в качестве основных факторов, влияющих на потерю ровности дорожного покрытия...

*Структурное моделирование. Надежность конструкции Современная исследовательская и внедренческая практика MEPDG* Для внедрения процедуры MEPDG для государственных дорожных агентств в отчете NCHRP 1-37A определены следующие проблемы и вопросы, которые необходимо решить заранее [21]:

- ♦ Исходные проектные данные (как агентство будет собирать исходные данные и создавать базу данных для них);
- ♦ Критерии проектирования производительности и надежности;
- ♦ Необходимое существующее и новое испытательное оборудование;
- ♦ Требования к компьютерному оборудованию и программному обеспечению;
- ♦ Локальная калибровка и валидация моделей разрушения;

- ♦ Создание базы данных проектов;
- ♦ Требования к подготовке персонала, занимающегося проектированием дорожных покрытий.

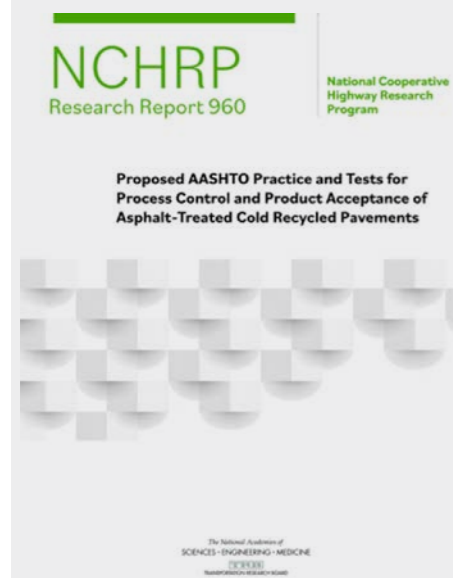
В течение последних 10 лет в Соединенных Штатах было проведено несколько проектов NCHRP, поддерживающих внедрение и принятие MEPDG, как показано в таблице 3.

Несколько штатов провели исследовательскую деятельность, направленную на содействие внедрению MEPDG. Интересно, что большинство штатов проводят аналогичную деятельность в рамках следующих направлений: (1) оценка чувствительности реакции дорожного покрытия на изменения проектных затрат; (2) оценка материалов и транспортных затрат; (3) установление допустимых/примлемых критериев эффективности дорожного покрытия; (4) калибровка MEPDG с учетом местных материалов, климата и условий дорожного движения. Для примера в таблице 4 приведены исследования, проводимые в штате Арканзас.

*Развиваются два типа анализа чувствительности:*

- (1) чувствительность прогнозируемых эксплуатационных параметров к исходным данным проектирования;
- (2) чувствительность прогноза эксплуатационных параметров к калибровочным коэффициентам. Первый анализ чувствительности используется для выбора уровня исходных данных (например, уровня 1, 2 или 3) для каждого проектного расчета для калибровки и реализации технологии. Второй анализ чувствительности используется для определения наиболее значимых коэффициентов среди всех калибровочных коэффициентов, чтобы можно было уменьшить требования к данным и объем вычислений для локальной калибровки. Различные агентства или институты провели аналогичные исследования, такие как Университет Арканзаса, Университет штата Айова, Университет Кентукки,

Рисунок 7. Вышедший в 2021 г. исследовательский отчет NCHRP 960 «Предлагаемая AASHTO практика и испытания для управления технологическими процессами и приемкой укрепленных битумными материалами холодных регенерированных покрытий»



по времени тесты для укрепленных битумными материалами CIR, FDR и CCPR слоев, которые предоставляют критерии для определения того, когда дорожное полотно может быть открыто для движения и устройства защитных слоев, а также стандартная практика использования этих тестов для контроля технологических процессов и приемки результатов работ.

Исследование проводилось в три этапа.

Этап I включал всесторонний обзор литературы, опрос заинтересованных сторон и обзор спецификаций дорожных агентств. Были определены несколько тестов, обычно используемых в полевых условиях, которые могли бы оценить желаемые критические по времени свойства.

Этап II представлял собой серию лабораторных экспериментов, в ходе которых оценивались несколько существующих и недавно разработанных тестов на предмет их способности определять в полевых условиях, когда дорожное полотно готово принять движение или покрытие.

Этап III оценивал наиболее перспективные испытания этапа II в полевых условиях, где свойства укрепленных методом холодной регенерации материалов из 16 строительных проектов измерялись на месте для определения готовности полотна к движению или устройству защитных покрытий.

Наконец, наиболее перспективные методы экспресс-испытаний из полевого эксперимента были включены в предложенную стандартную практику AASHTO, которая рекомендует их использование для принятия критических по времени решений относительно открытия холодных переработанных покрытий для движения транспорта и устройства защитных слоев. Ключевым результатом этого исследования является предложенная Стандартная практика AASHTO и связанные с ними методы испытаний. Эта практика представлена в Приложении В. Два новых метода испытаний, разработанных в рамках проекта, представлены в приложениях С и D.

Калифорнийский университет в Дэвисе, Департамент транспорта Нью-Джерси и Техасский транспортный институт. На основе анализа чувствительности предлагается определить или дополнительно проанализировать на уровне штатов следующие входные параметры, если MEPDG будет реализована в будущем: (1) климатические данные; (2) данные спектров транспортной нагрузки; (3) исходные параметры горячих асфальтобетонных смесей: динамический модуль, прочность на растяжение и изгиб; (4) исходные параметры бетонных смесей: коэффициент теплового расширения, модуль разрыва, прочность на сжатие и коэффициент Пуассона; (5) исходные параметры основания: модуль упругости; (6) исходные параметры земляного полотна: модуль упругости.

*Характеристики материалов*  
Динамический модуль  $E^*$  для асфальтобетонной смеси (НМА)  
Динамический модуль горячей НМА является наиболее значимым входным элементом, используемым при проектировании конструкции асфальтобетонных покрытий. Основные целевые характеристики  $E^*$  включают в себя: (1) разработку базы данных динамических модулей и определение изменчивости данных для  $[E^*]$  входного уровня 1 в MEPDG; (2) оценку прогностического уравнения для  $[E^*]$  входных уровней 2 и 3 в MEPDG; (3) определение соответствующего  $[E^*]$  исходного уровня для первоначальной реализации MEPDG [26–28].  
В Арканзасе программа испытаний динамического модуля включала 21 вариант АБС, изготовленных из четырех видов щебня и гравия, трех размеров заполнителей и двух марок битумного вяжущего [29]. Испытание динамического модуля проводилось в лаборатории в соответствии со Стандартным методом определения динамического модуля горячих асфальтобетонных смесей AASHTO TP-62 при пяти температурах, включая –10, 4,4, 21,1, 37,8 и 54,4 °C (14, 40,

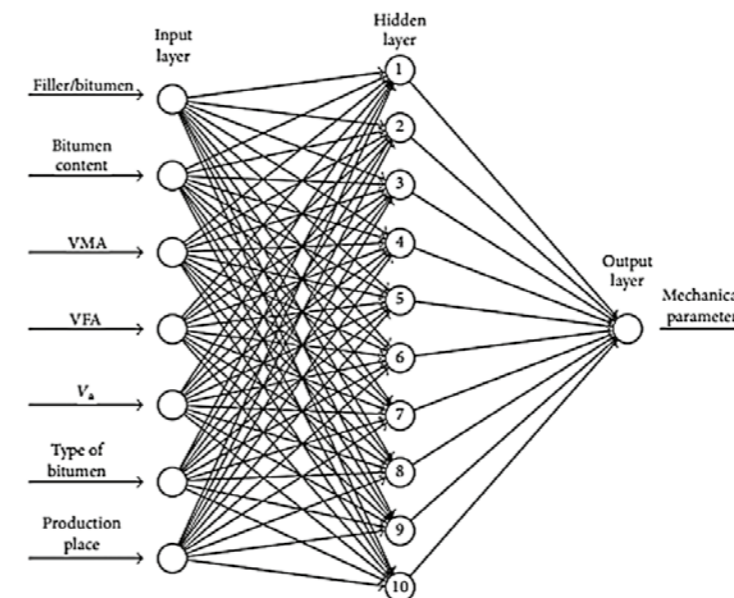


Рисунок 8. Структура ANN, принятая в исследовании [30].

70, 100 и 130 °F), и шести частотах, включая 25, 10, 5, 1, 0,5, 0,1 Гц. Для каждой смеси АБС было приготовлено по три различных образца при оптимальном содержании вяжущего. После уплотнения смесей образцов до диаметра 150 мм и высоты 170 мм на двух уровнях воздушных пустот из середины уплотненных образцов вырезали тестовые образцы диаметром 100 мм и высотой 150 мм. Было обнаружено, что предсказанные значения динамического модуля в MEPDG достаточно хорошо согласуются с лабораторными измерениями.

*Коэффициент теплового расширения (КТР) для портландцементного бетона*

Среди таких параметров, как градация, модуль упругости и прочность на сжатие, коэффициент теплового расширения (КТР) оказался очень значимым для жестких дорожных покрытий. Однако КТР не был включен в качестве переменной в спецификации материалов или в большинстве лабораторий. Для решения этой проблемы был поддержан проект TRC-0708, спонсируемый Департаментом автомобильных дорог и транспорта штата Арканзас (АНТД) [30]. Были протестированы двенадцать пространственных дорожных смесей РСС в Арканзасе с использованием четырех типов заполнителей (известняк, сиенит, песчаник и гравий) и трех различных пропорций цемента. Анализ дисперсии и анализ

чувствительности были проведены для оценки влияния свойств смеси на КТЭ и влияния на прогнозы производительности дорожного покрытия использования входных данных уровня 1- и 3-КТР. Было установлено, что тип крупного заполнителя в бетонной смеси существенно влияет на КТР. Но содержание цемента и возраст бетона не были существенными. В дополнение к выводам о КТР, это исследование документировало процедуру лабораторных испытаний бетонных материалов для MEPDG. Полученные результаты послужили основой для разработки жестких дорожных покрытий в Арканзасе. В этом исследовании были также испытаны модуль разрыва, модуль сжатия и коэффициент Пуассона для смесей. Аналогичное исследование было проведено рядом других агентств [31–33].

*Модуль упругости*

Понимая важную роль модуля упругости в MEPDG, АНТД поддержала два исследовательских проекта по изучению модуля упругости грунтов земляного полотна [34–35] и несвязанного основания [36]. Десять участков были выбраны таким образом, чтобы было представлено большое разнообразие грунтов земляного полотна, обычно встречающихся в Арканзасе. Модуль упругости измеряли различными методами, включая лабораторный триаксиальный тест, дефлектометр падающего

груза (FWD), стандартный тест на пенетрацию и спектральный анализ поверхностных волн (SASW). В другом исследовании на несвязанной основе были отобраны пять пород, представляющих основные геологические материалы (известняк, доломит, песчаник, сиенит, новакулит) для щебня, производимого в Арканзасе. Были проведены трехосные испытания, определение прочности на сдвиг, водонасыщение. Эти два исследования установили надежный ориентир для Арканзаса по внедрению MEPDG.

*Расширенная интегрированная климатическая модель (EICM) Характеристика спектра транспортной нагрузки*

*Проектные изыскания и руководства по проектированию Местная калибровка Дороги с низкой интенсивностью Команда внедрения руководства по проектированию Дальнейшие усилия LTPP*  
Проведение лабораторных испытаний MEPDG уровня 1  $[E^*]$  на образцах материалов из испытательных участков LTPP нецелесообразно из-за нехватки материалов, бюджетных ограничений и отсутствия общепринятого метода испытаний полевых образцов, полученных из относительно тонких конструкций дорожных покрытий. Однако база данных LTPP содержит данные, которые могут быть использованы для оценки основной кривой  $[E^*]$  и связанных с ней коэффициентов сдвига. Недавний исследовательский проект [37] вычисляемого LTPP параметра: динамический модуль упругости (FHWA-HRT-10-035) достиг этих целей. Основной задачей была разработка оценок динамического модуля слоев АБС на испытательных участках LTPP по моделям, использованным в MEPDG. В рамках этого проекта была проведена оценка существующих моделей, используемых для оценки  $[E^*]$  значений, и разработаны дополнительные модели, основанные на использовании искусственных нейронных сетей (ANN). Модели используют легкодоступную информацию о смеси и вяжущем для оценки динамического модуля.





Рисунок 9. Фото экспертов Китайского сообщества дорог и транспорта (CH&TS) и гостей BRITA в рамках WTC-2019 (слева на право): Jenny Wang — представитель CH&TS в США, Станислав Мамулат — советник генерального директора ФАУ «РОСДОРНИИ», Neil Pedersen — исполнительный директор TRB, Юлия Зворыкина — директор АНО «Институт ВЭБ», Nara Luvsan — старший администратор Экологических программ ООН в странах «Пояса и Пути», Susanna Zammataro — генеральный директор IRF.

В последнем выпуске стандартных данных LTPP 25.0, переизданном в январе 2011 года, результаты исследований были объединены и семь новых таблиц были добавлены в модуль тестирования (TST) базы данных LTPP. Эти характеристики включают входные данные, используемые в прогнозах, оценки [E\*] при пяти температурах и шести частотах, сигмоидальная функции (размер и форма главной кривой) и коэффициенты сдвига.

#### Климатические воздействия

- 1) Совершенствование расширенной климатической модели (EICM);
- 2) Изменения климата.

#### Проверка качества данных о трафике

#### Локальная калибровка и внедрение

- 1) Непредвиденные обстоятельства и качество данных;
- 2) Модели дорожных одежд с основаниями переходного типа (semi-rigid).

#### Механистические модели Надежность

#### Использование методов содержания дорожного покрытия

Механико-эмпирическое руководство по проектированию дорожного покрытия представляет собой значительное изменение в способе проектирования дорожного покрытия, подготовке исходных данных и повышении обоснованности эффективных проектных решений. Таким образом, реализация процесса проектирования MEPDG требует, чтобы проектировщики были хорошо осведомлены об исходных данных проектирования дорожного покрытия и его эксплуатационных параметрах и условиях. Кроме того, необходимо взаимодействие между инженерами дорожного агентства, работающими в области дорожного движения, материалов, геотехнических зон и дорожных конструкций, для определения правильных исходных параметров для проектирования. На основе обзора процедуры проектирования и проведенных исследований остаются требующими решения проблемы

и определяются будущие направления исследований, включая надежный анализ чувствительности вводимых данных, совершенствование климатических моделей, воздействие потенциальных изменений климата, контроль качества данных о дорожном движении, калибровка локальных данных и новые материалы. В то же время ограничения механистических моделей, концепции надежности в MEPDG и проблемы включения обслуживания в процедуру проектирования также рассматриваются и требуют дальнейших исследований.

Работы по этим актуальным направлениям продолжают постоянно.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ НОВЕЙШИХ РАЗРАБОТОК

В качестве одного из самых «свежих» отчетов, подготовленных в рамках NCHRP, можно привести следующий [38], выполненный под руководством Эдварда Харригана (Edward T. Harrigan), как и значительная часть первых отчетов по SHRP (рисунок 7).

В заключение данного раздела в качестве одной из самых «прорывных» работ в данном направлении хочется привести работу итальянских и греческих исследователей из университета Удины, Падуа и Цессалоники (University of Udine, Aristotle University of Thessaloniki, University of Padua), посвященную анализу механике «поведения» асфальтобетона с использованием искусственных нейронных сетей [39], в которой авторы приводят рассчитанные «нейросетями» коэффициенты жесткости, устойчивости, стабильности и пластичности по Маршаллу, для предсказательных моделей.

#### ВМЕСТО ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ВЫВОДОВ

Приведенный анализ задач и методов организации Стратегических программ дорожных исследований на примере SHRP показывает их значительную научную эффективность и социальную значимость, поддерживаемую не только национальными отраслевыми

сообществами, государственными учреждениями и пользователями, но и международными научными, инженерными и университетскими коллективами.

Очевидно, что подобный подход к организации исследований, инноваций и стандартизации в транспортной отрасли заслуживает дальнейшего изучения и освоения, тем более что что он очень созвучен реализуемому при планировании программ РАН и ОПК [40], и, что в этом направлении обсуждается целый ряд международных программ

на пространстве Евразии и даже — в глобальном масштабе (например, в рамках инициативы «Один пояс — один путь»), обещающих странам-участницам синергетические эффекты за счет увеличения не только интегральных объемов статистических данных, повышающих валидность используемых моделей, но и обмена нормативно-техническими, учебно-методическими материалами и программными средствами, облегчающими освоение и гармонизацию лучших практик. <https://4science.ru/articles/Sistemnie-trebovaniya/>.

При этом адаптация и применение описанных подходов в процессе обновления нормативно-технической базы строительства и инфраструктурного развития, проводимой в рамках Евразийской экономической комиссии, может содействовать более согласованному и эффективному принятию и освоению странами-участницами наиболее научно и практически обоснованных инновационных подходов к интегрированному и устойчивому развитию науки и практики в соответствующих сегментах экономики [40, 41]. ■

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Джуманов Р.Б., SUPERPAVE или «обратная сторона луны», газета «Российский дорожник» № 52(1039) 24.12.2020
2. Онлайн запись XXXI научной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона, «Развитие технологии асфальтобетона в условиях совершенствования нормативной базы материалов и методов испытаний», 26 января 2021 г., МАДИ, URL: [https://www.youtube.com/watch?v=J6B8dyLYUF8&feature=emb\_logo]
3. ГОСТ Р 58401.2–2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Система объемно-функционального проектирования. Правила проектирования».
4. ГОСТ Р 58401.1–2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования».
5. Зворыкина Ю.В., Мамулат С.Л. О разрывах, эффектах и стратегиях при реализации национальных проектов/ Журнал «Менеджмент и бизнес-администрирование», ISSN2075–1826 № 2, 2019 г., стр.18–32 eLIBRARY ID: 38213067 URL: [https://www.researchgate.net/publication/342260112\_O\_razryvah\_effektah\_i\_strategiah\_pri\_planirovanii\_i\_ocenke\_dostizhenia\_proryvov\_pri\_realizacii\_nacionalnyh\_proektov\_Zurnal\_Menedzment\_i\_biznes-administrirovaniye\_aprel\_2019g\_No\_2\_str\_18-32]
6. Мамулат С.Л./ «Инновации и стандартизация в отраслевом и корпоративном аспектах» / Журнал «Тенденции и перспективы» № 1(1) 2014, стр. 64–68 URL: [https://www.researchgate.net/publication/341579663\_Innovacii\_i\_standartizacia\_v\_otraslevom\_i\_korporativnom\_aspektahTendencii\_i\_Perspektivy\_1\_1\_2014]
7. Могильный К.В., Мамулат С.Л./ О нормировании, техническом контроле и инновациях в производстве и применении битумных вяжущих/ Дороги. Инновации в строительстве.— 2014, № 35, март.— стр. 8–14 URL: [https://www.researchgate.net/publication/341567094\_O\_normirovanii\_tehneskom\_kontrol\_e\_i\_innovaciah\_v\_proizvodstve\_i\_primenenii\_bitumnyh\_vazusih\_Dorogi\_Innovacii\_v\_stroitelstve\_-2014\_No35\_mart\_-str\_8-14]
8. Дамье Е.Л., Зворыкина Ю.В., Мамулат С.Л. «Производственно-логистические вопросы обеспечения битумными вяжущими на стыке пятилеток»/ Журнал «Мир дорог» № 124, 2019, стр.20–28 URL: [https://www.researchgate.net/publication/336411538\_PROIZVODSTVENNO-LOGISTICESKIE\_VOPROSY\_OBESPECENIA\_BITUMNYMI\_VAZUSIMI\_NA\_STYKE\_PATILETOK\_EL\_Dame\_UVZvorykina\_SLMamulat\_PRODUCTION\_AND\_LOGISTICS\_ISSUES\_OF\_PROVIDING\_BITUMINOUS\_BINDERS\_AT\_THE\_JUNCTION\_OF]
9. Е.Л. Дамье, Объемный метод проектирования асфальтовых смесей, основанный на принципах системы Superpave/ Журнал «Мир дорог» № 119, 2020, стр.72–73.
10. С.Л. Мамулат, Ю.С. Мамулат, И.Н. Бурмистров. «О подходах к модификации битумных вяжущих»/ Журнал «Мир дорог» № 117, 28 апреля 2019 г., стр. 41–46 URL: [https://www.researchgate.net/publication/332780500\_O\_PODHODAH\_K\_MODIFIKACII\_BITUMNYH\_VAZUSIH\_ABOUT\_APPROACHES\_TO\_MODIFICATION\_OF\_BITUMINOUS\_BINDERS]
11. Онлайн запись выступления и ответов на вопросы Р.Б. Джуманова в ходе XXXI научной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона, «Развитие технологии асфальтобетона в условиях совершенствования нормативной базы материалов и методов испытаний» 26 января 2021 г., МАДИ, 2 ч. 32 мин.— 3ч. 12 мин. и 4 ч. 12 мин.— 4 ч. 20 мин. URL: [https://www.youtube.com/watch?v=J6B8dyLYUF8&feature=emb\_logo]
12. И.Ю. Сарычев. «Особенности подбора состава асфальтобетона при производстве на АБЗ по ГОСТ 58401 и ГОСТ Р 58406»/ доклад на XXXI научной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона, «Развитие технологии асфальтобетона в условиях совершенствования нормативной базы материалов и методов испытаний» 6 января 2021 г., МАДИ, URL: [https://www.youtube.com/watch?v=J6B8dyLYUF8&feature=emb\_logo]
13. Г.Н. Кирихин, Э.В. Котлярский, В.И. Кочнев. «Основы и проблемы функционального проектирования составов асфальтобетонных смесей»/ доклад в ходе XXXI научной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона, «Развитие технологии асфальтобетона в условиях совершенствования нормативной базы материалов и методов испытаний», 26 января 2021 г., МАДИ.
14. J.C. Petersen, R.E. Robertson, J.F. Branthaver, P.M. Harnsberger, J.J. Duvall, S.S. Kun, D.A. Andersen, D.W. Christiansen, H.U. Bahia "Binder Characterization and Evaluation." Volume 1, SHRP-A-367/ National Research Council, Washington. D.C., 1994.