УДК 625.855.3

ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТОНА НА ОСНОВЕ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА

Канд. техн. наук **С.В. Полякова**,
начальник отдела НТИ **Н.Н. Рубинская**
(ФАУ «РОСДОРНИИ)
Конт. информация: polyakovasv@rosdornii.ru;
ontirosdornii@mail.ru

В статье дан анализ зарубежного опыта (США) в вопросах проектирования оптимальных составов асфальтобетонных смесей и прогнозирования долговечности асфальтобетонных покрытий с использованием наиболее значимых эксплуатационных характеристик асфальтобетона. Рассмотрены алгоритмы исследований в данном направлении, позволяющие оценить качественные характеристики асфальтобетона в условиях эксплуатации дорожного покрытия.

***Ключевые слова**: проектирование асфальтобетонной смеси, методология Superpave (объемные характеристики), эксплуатационные характеристики (ЭХ) асфальтобетона, прогнозирование долговечности асфальтобетонных дорожных покрытий.*

В связи с увеличением стоимости дорожно-строительных материалов актуальной задачей является внедрение инновационных решений с возможностью широкого использования местных материалов, отходов промышленности и других продуктов производства, позволяющих при сохранении уровня качества конечного продукта (асфальтобетона) сократить материальные затраты на строительство, ремонт и содержание автомобильных дорог.

При этом важное практическое значение имеет распространение зарубежной научно-технической информации о результатах научных исследований и перспективных проектов, отраженных в отчетах, статьях, докладах в целях содействия инновационному развитию отечественного дорожного хозяйства в условиях масштабного обновления документов по стандартизации.

Использование зарубежного опыта в области оценки качества конечного продукта (асфальтобетона) и результатов рационального применения прогрессивных методов исследований позволит рекомендовать алгоритмы исследований для оптимизации составов асфальтобетонных смесей с учетом региональных условий эксплуатации дорожных покрытий, для оценки качества эксплуатационных характеристик (ЭХ)

асфальтобетона в соответствии с новыми нормативно-техническими документами.

В последние годы в отечественной практике дорожного хозяйства уделялось большее внимание качеству исходных материалов. В рамках работ по оценке технической эффективности зачастую проводились сравнительные испытания промежуточных продуктов (битумных вяжущих, минеральных материалов и др.) и в меньшей степени оценивались показатели асфальтобетона. В случае использования в асфальтобетонных смесях новых видов минеральных материалов и органических вяжущих, которые в ряде случаев отличаются по своим свойствам от традиционных материалов, необходимо комплексное, всестороннее изучение не только на уровне сравнения их физико-механических свойств, но и путем прогнозирования эксплуатационных характеристик асфальтобетона в течение срока службы дорожного покрытия. К одной из причин недостаточной комплексной оценки технической эффективности новых материалов можно было бы отнести отсутствие в дорожном хозяйстве доступных высокоточных средств измерения, испытательного оборудования, методов испытаний, позволяющих оценивать поведение материала при различных температурных режимах и нагрузках, используя неразрушающие методы исследований асфальтобетона.

В последние годы за короткий период введено в действие и продолжается разработка огромного количества стандартов (ГОСТ, ПНСТ, ГОСТ Р, ОДМ) на методы испытаний дорожных асфальтобетонных смесей и асфальтобетона. Большая часть документов разработана с учетом положений зарубежных стандартов. Таким образом, появилась возможность не только определять прочностные характеристики асфальтобетона в момент разрушения, но и моделировать процессы его поведения до разрушения и тем самым прогнозировать срок службы дорожного покрытия. При использовании уникального лабораторного оборудования, позволяющего прогнозировать ЭХ асфальтобетона, требуется привлечение к данному процессу высококвалифицированных специалистов-испытателей и серьезная методическая поддержка. В настоящее время в открытых источниках информации практически отсутствуют результаты отечественных научно-исследовательских работ, выполненные с использованием методов Superpave, позволяющих выбирать наиболее перспективные направления исследований и ориентироваться в фактических экспериментальных данных при прогнозировании ЭХ асфальтобетона.

В настоящее время за рубежом накоплен огромный объем исследований, подтверждающих эффективность применения новых технических и технологических решений, в том числе в области использования новых местных материалов взамен традиционных. Оптимальное проек-

тирование состава асфальтобетонных смесей с применением местных материалов (в ряде случаев характеризующихся более низким уровнем качественных показателей свойств) и выбор наиболее эффективных технологических режимов производства при сравнительной оценке комплекса эксплуатационных характеристик асфальтобетона является сложной, но перспективной научной задачей. Реализация данного направления осуществляется, прежде всего, научными компетентными организациями, в рамках исследований которых прогнозируется срок службы асфальтобетонного покрытия. Исследовательский подход заключается в обширной экспериментальной работе и реологическом моделировании процесса деформации материала. В рамках зарубежных исследований уделяется значительное внимание изучению характера развития деформаций в асфальтобетоне в зависимости от воздействия нагрузки транспортных средств, погодно-климатических условий, качественных показателей применяемых материалов, качества укладки асфальтобетонных смесей, уровня эксплуатации покрытия и др.

Прогнозирование долговечности асфальтобетонных дорожных покрытий является сложнейшей задачей. В первую очередь это связано с гетерогенной системой асфальтобетона, а также с трудностью описания зависимостей факторов внешнего воздействия (транспортных нагрузок, погодно-климатических и др.), с недостаточно полно изученными внутренними физико-механическими процессами в асфальтобетоне как сложном композиционном материале, с отсутствием необходимых статистических данных и др. Решение вопросов прогнозирования долговечности асфальтобетонных покрытий должно осуществляться по наиболее значимым ЭХ с учетом множества факторов, влияющих на динамику процессов, развивающихся в асфальтобетоне.

К основным факторам, оказывающим влияние на различные виды разрушения дорожных асфальтобетонных покрытий, относят:

- воздействие воды (влаги);
- влияние транспортной нагрузки;
- неблагоприятные климатические условия:
  - в зимний период – замерзание-оттаивание дорожных одежд (особенно нежесткого типа), что вызывает снижение несущей способности земляного полотна в период оттаивания;
  - в летний период – воздействие солнечного излучения на поверхностные слои обуславливает старение битума, что вызывает появление разнонаправленных термических трещин;

Следует отметить, что верхние слои покрытий автомобильных дорог со средней и высокой интенсивностью движения подвержены риску образования колеи в слое износа и др.

При изучении зарубежного опыта в вопросах оценки ЭХ можно отметить значительный объем научных работ, посвященных вопросам колееобразования, усталостного растрескивания, трещинообразования асфальтобетона и коррозионной стойкости асфальтобетона.

Так, в апреле 2016 г. в Солт-Лейк-Сити (штат Юта, США) состоялось заседание рабочей группы по разработке сбалансированных составов асфальтобетонных смесей **[1]**. Состав рабочей экспертной группы представлен в **табл. 1.**

Таблица 1

Состав рабочей экспертной группы по асфальтобетонным смесям

Принадлежность к организации	***Категория***
Фирма Pine Bluff S&G	Промышленность
Федеральная дорожная администрация США (FHWA – Federal Highway Administration), округ Денвер	Федеральная дорожная администрация США
Фирма Oldcastle Materials	Промышленность
Фирма Mathy Construction	Промышленность
Консалтинговая фирма	Консалтинг
Университет штата Арканзаса	Сфера науки, исследования
Фирма Heritage Research	Промышленность
Министерство транспорта штата Онтарио	Региональное ведомство
Университет штата Луизиана	Сфера науки, исследования
Институт транспорта штата Техас	Сфера науки, исследования
Национальный центр асфальтовых технологий (NCAT – National Center for Asphalt Technology)	Исследования

Основной темой обсуждения был вопрос, касающийся разработки сбалансированных составов асфальтобетонных смесей с использованием методов оценки ЭХ асфальтобетона, учитывающих множественные режимы воздействия: потеря первоначальных показателей свойств асфальтобетонных смесей, влияние интенсивности движения автомобилей, климатические условия эксплуатации и местонахождение в конструкции дорожного покрытия.

В ходе обсуждения были названы причины, обуславливающие целесообразность использования *нового подхода* к разработке оптимальных составов асфальтобетонных смесей из-за необходимости:

- оценки качества запроектированных смесей с учетом ожидаемой эффективности подбора и возможности прогнозирования ЭХ асфальтобетона;
- разработки составов смесей с высокими ЭХ, а не только подбора смеси методом объемного проектирования;
- решения ряда проблем, возникающих в связи с отсутствием подтверждения эффективности ЭХ асфальтобетона, что может быть связано с трещинообразованием из-за низкого содержания вяжущего в смеси, с образованием колеи вследствие применения зерен заполнителя с высокой степенью окатанности, а также недостаточного уплотнения на месте производства работ и др.;
- частичной замены битумного вяжущего и минеральных составляющих вторично переработанными материалами;
- оценки эффективности применения различных видов добавок (модификаторов) в смеси, которые не в полной мере учитываются непосредственно при проектировании состава смеси.

Все методы по оценке эффективности применения асфальтобетонных смесей связаны с оценкой ЭХ самого асфальтобетона и отличаются от методов, применяемых при объемном проектировании смесей.

К методам оценки ЭХ асфальтобетона относят:

- тест «Гамбургское колесо» (гамбургский метод) **(рис. 1)**;
- метод определения динамического модуля упругости при помощи установки AMPT *(англ. Asphalt Mixture Performance Tester – оборудование для определения эксплуатационных характеристик асфальтобетонных смесей)* **(рис. 2)**;
- метод с применением оборудования APA *(англ. Asphalt Pavement Analyzer – анализатор асфальтобетонного покрытия)* **(рис. 3)**;
- определение усталостной прочности при многократном изгибе **(рис. 4)**;
- испытание на изгиб образца полуцилиндра с надрезом и др.

Рис. 1. Испытательное оборудование «Гамбургское колесо»

Рис. 2. Установка АМРТ

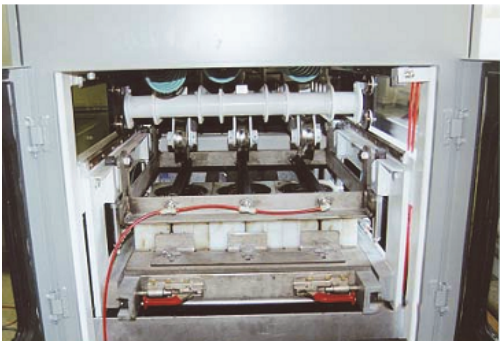

Рис. 3. Оборудование АРА

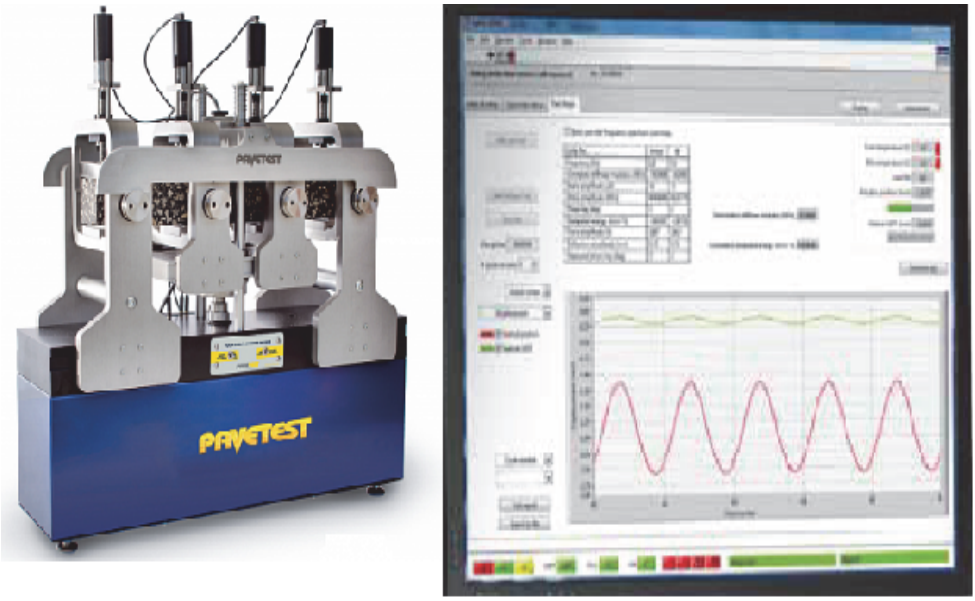

Рис. 4. Оборудование для проведения испытаний на 4-х точечный изгиб *(англ. Four Point Bend Test)*

Решение, принятое на данном заседании рабочей группы, заключалось в том, что не следует делать ***различия между механическими / эмпирическими тестами.*** Одним из участников, Р. Вестом (R. West), было отмечено следующее: «*Давайте не будем вязнуть в механической и эмпирической семантике. За основу необходимо принять две наиболее важные вещи: первое – параметр теста должен относиться к эксплуатационным характеристикам асфальтобетона, второе – тест может быть применен для рутинного использования при проектировании асфальтобетонной смеси*».

Было предложено разделить процесс проектирования асфальтобетонных смесей на три уровня ***A***, ***B*** и ***C***.

Иерархия проектирования асфальтобетонных смесей

Уровень А

Определяющие параметры:
эксплуатационные характеристики (ЭХ)

Проектирование асфальтобетонной смеси с учетом требований по прогнозированию ЭХ, которые должны соответствовать измеряемым параметрам асфальтобетона (*без учета ограничений по объемному проектированию смеси по методологии Superpave*).

Уровень В

Определяющие параметры:
ЭХ ± Superpave (объемные характеристики)

Проектирование смеси с учетом соответствия требованиям ЭХ (колейность, трещиностойкость или другой критерий ЭХ) в качестве основного принципа проектирования *с допустимыми корректировками по методу объемного проектирования смеси по методологии Superpave AASHTO M323.*

Уровень С

Определяющие параметры:
Superpave (объемные характеристики) + ЭХ

Проектирование смеси с учетом метода объемного проектирования по методологии *Superpave,* согласно AASHTO M323 (объемные характеристики), в качестве основного принципа и *дополнительно – применение тестов на ЭХ* (определение колейности, трещиностойкости или других критериев ЭХ).

На **рис. 5-7** представлены три блок-схемы проектирования асфальтобетонных смесей различных уровней (уровни А, В и С).

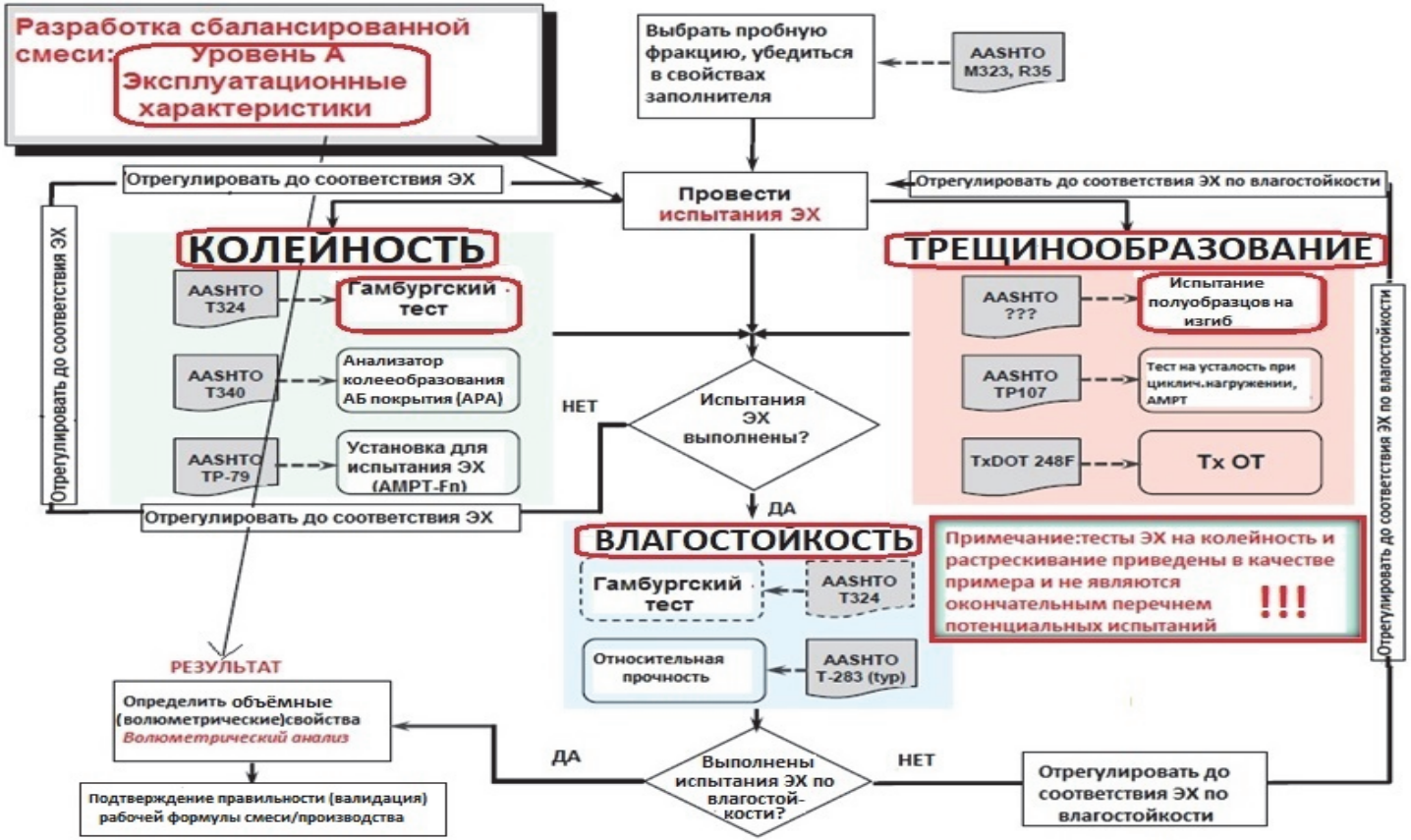

Рис. 5. Проектирование состава асфальтобетонной смеси по Уровню А

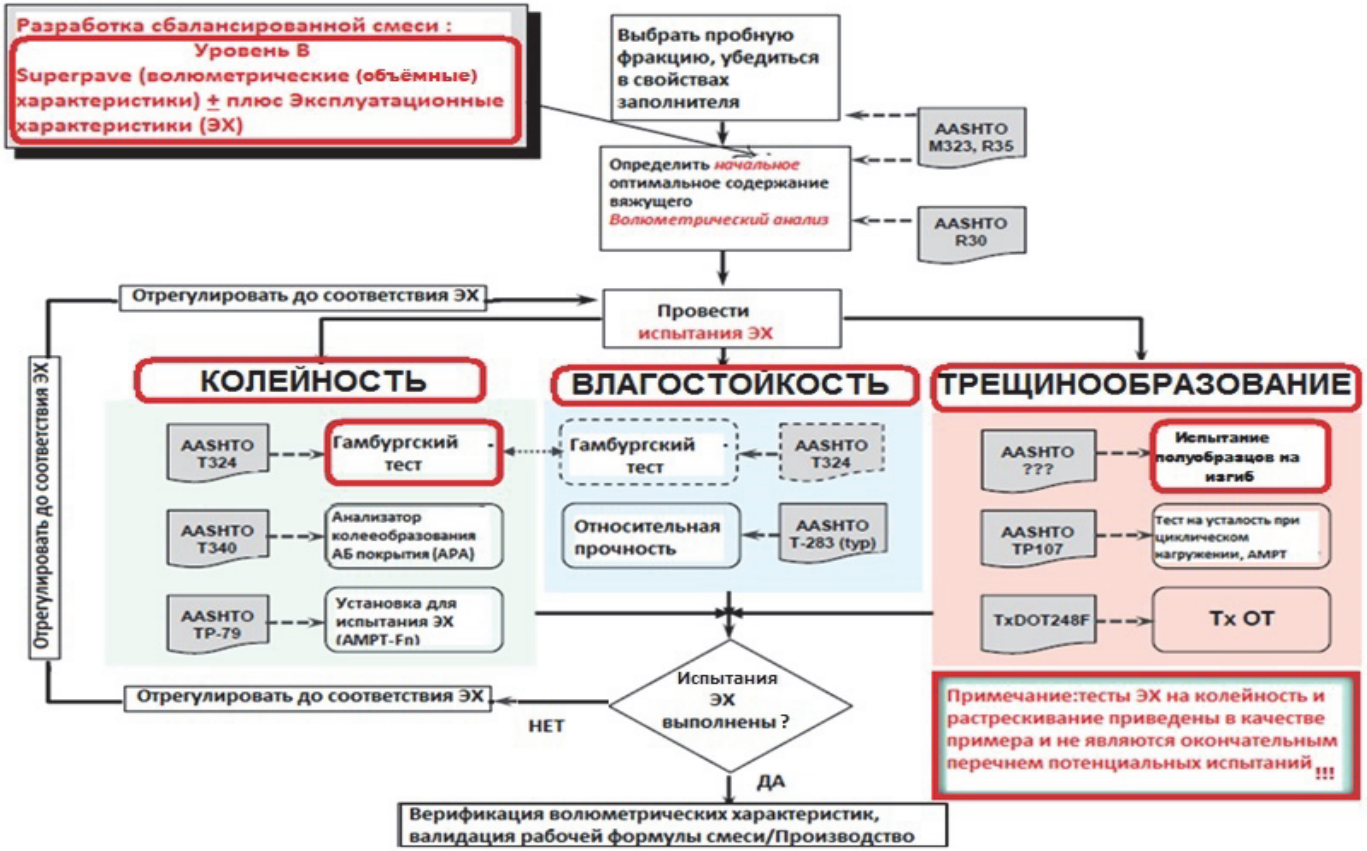

Рис. 6. Проектирование состава асфальтобетонной смеси по Уровню В

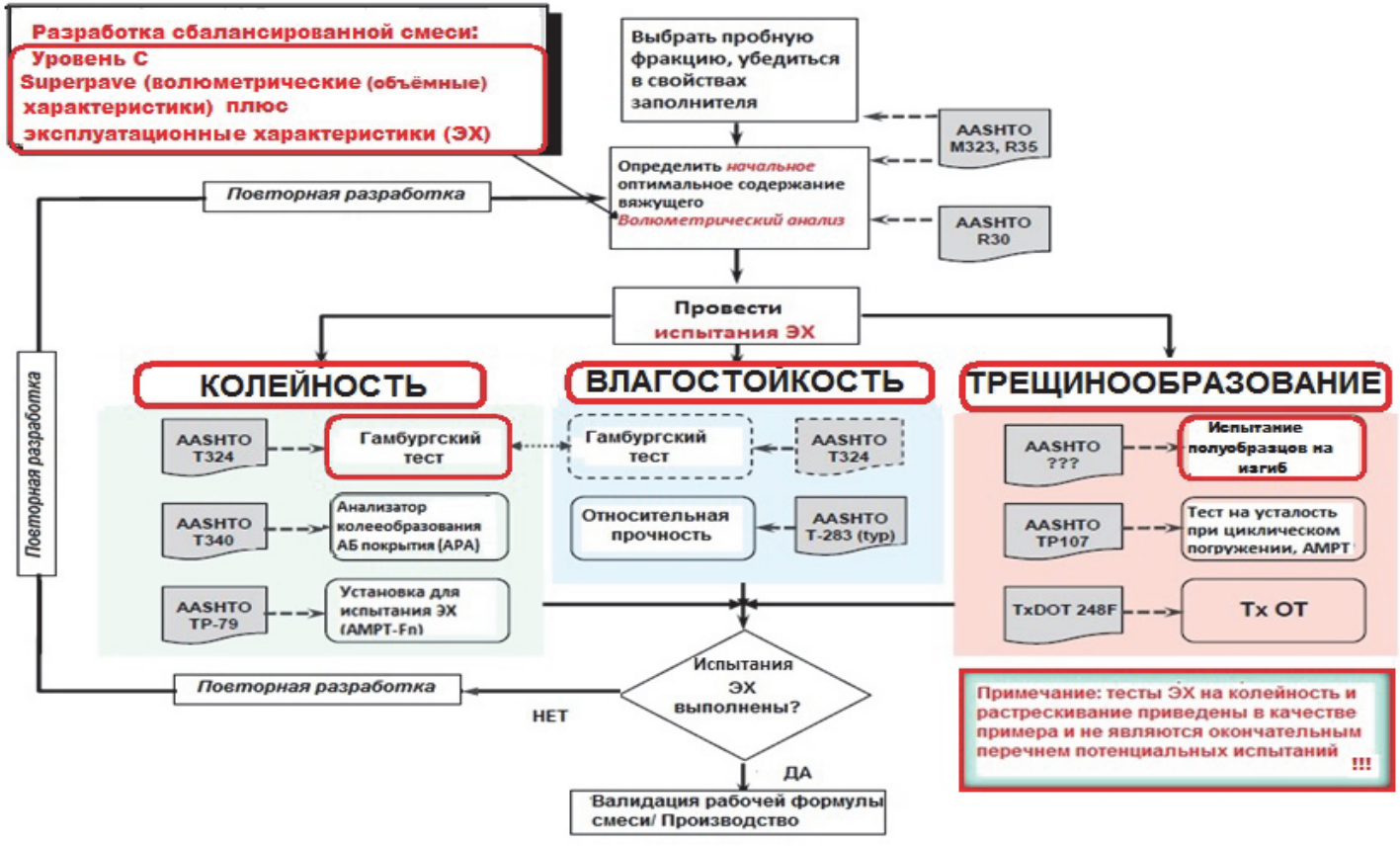

Рис. 7. Проектирование асфальтобетонной смеси по Уровню С

При проектировании оптимальных составов асфальтобетонных смесей особое внимание уделяется оптимизации рабочей формулы смеси – JMF (Job Mix Formula). В **табл. 2** приведена информация практического использования трех моделей (уровни А, В или С), применяемых в семи штатах США **[2].**

Таблица 2

Сведения о практическом использовании различных видов моделей (уровни А, В или С) при проектировании составов асфальтобетонных смесей в семи штатах США

Модель (уровень) при проектировании смеси	***Штат США***	***Применяемые тесты для определения ЭХ***	***Корректировка смеси***
МОДЕЛЬ 1 (уровень С) ***Superpave*** *(метод объемного проектирования)* + ***ЭХ***	**Иллинойс** 8 проектов в 2016 г. в рамках строительства	STA-Hamburg (гамбургский тест) LTA (долгосрочное старение) – I-FIT – Гамбургский метод определения колейности	- RAP и RAS (переработанный асфальтобетон и крошка) – Изменение количества *Смена поставщика вяжущего*
	Техас Все специальные смеси за последние 2-3 года	STA – Hamburg LTA – Overlay tester	- Содержание вяжущего *Смена поставщика вяжущего* - Корректировка размера фракции мелкого заполнителя (P200) *Смена поставщика заполнителя*
	Висконсин 4 проекта за 2015 г.	STA – Hamburg LTA – DCT и SCB (тест полуцилиндра на изгиб)	*Смена поставщика вяжущего и добавок* - Корректировка размера фракции крупного заполнителя и мелкого заполнителя - Добавка резины

Модель (уровень) при проекти-ровании смеси	*Штат США*	*Применяемые тесты для определения ЭХ*	*Корректировка смеси*
	Луизиана	STA – Hamburg LTA – SCB	-
	Нью-Джерси Все специальные смеси – 5-10 % от общего выпуска	STA – APA (анализатор асфальтобетонного покрытия) LTA – Overlay tester и Beam Fatigue (испытание на усталость при изгибе)	- WMA (теплый асфальтобетон) - «Омолаживающие» компоненты - Полимеры - Изменение состава смеси
МОДЕЛЬ 2 (уровень В) ***ЭХ + Superpave*** *(объемные характеристики)*	**Калифорния** 7 межштатных проектов 2016 г.	STA – Hamburg, Repeated Shear (испытание на сдвиг) LTA – Beam Fatigue & freq. sweep (испытание на усталость при изгибе и качание частоты)	*Работы с поставщиком вяжущего/ заполнителя* - Содержание вяжущего - Соотношение: пыль(порошок)/ вяжущее
МОДЕЛЬ 3 (уровень А) ЭХ	**Нью-Джерси** Проекты, планируемые к применению	STA – APA LTA – Overlay tester и Bearm Fatigue	Должно быть определено в ходе работ

Состояние практического применения

Дополнительно был проведен опрос в 27 штатах ((Лоуай Мохаммад (Louay Mohammad), февраль 2016 г.) и установлено, что в текущих технических условиях по проектированию асфальтобетонных смесей используются тесты по оценке эксплуатационных характеристик (по

данным департаментов транспорта штатов (ДТШ) США) в 21 штате, что составляет 78 % и 6 штатов (22 %) их не используют. На диаграмме **рис. 8** представлена информация практического применения с учетом методов оценки эксплуатационных характеристик асфальтобетона.

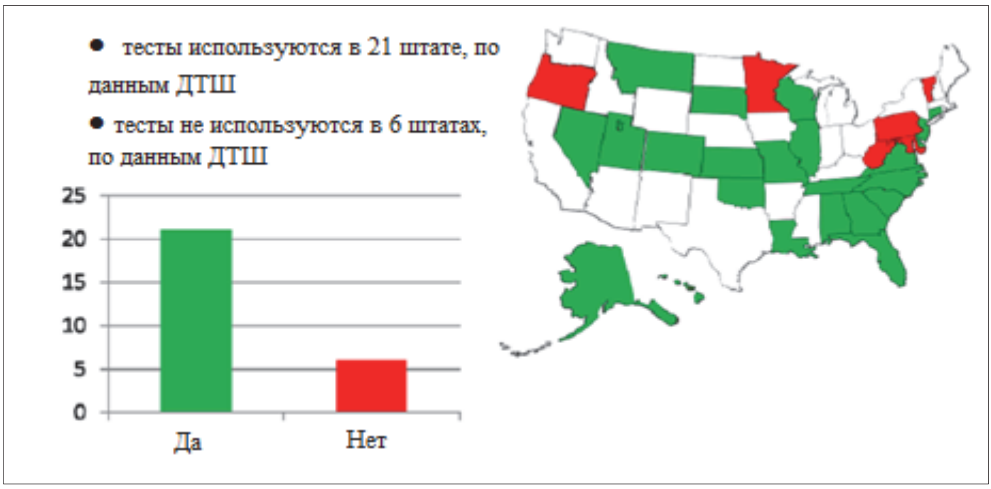

Рис. 8. Диаграмма практического применения методов оценки асфальтобетона

Кроме того, 12 штатов используют те же методы для оценки ЭХ непосредственно при производстве асфальтобетонных смесей на асфальтобетонных заводах, 10 штатов не используют ЭХ для оценки смеси в процессе производства и 5 штатов используют их лишь в том случае, если возникают спорные вопросы.

Таким образом, по результатам работы группы по разработке сбалансированных составов асфальтобетонных смесей *(ETG BMD TF Update – апрель 2016)* пришли к следующему заключению:

В настоящее время отсутствуют четкие рекомендации по проектированию сбалансированных асфальтобетонных смесей ***(Balanced Mix Design, BMD)****. Однако данное направление проектирования является прогрессивным, что требует поэтапного решения с разработкой альтернативных подходов.*

Кроме того, справочно сообщаем, что ФАУ «РОСДОРНИИ» подготовлен *Информационный сборник о передовом зарубежном опыте по оценке эксплуатационных характеристик горячих асфальтобетонов* за последние пять лет, на основе обобщения и сопоставительного анализа различных материалов (публикаций, отчетов о научных исследованиях, в том числе переводных). Техническая поддержка в данном направле-

нии позволит идти в ногу со временем при решении широкого спектра задач при проектировании составов асфальтобетонных смесей, строительстве и эксплуатации асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог. Обобщенная и обширная информация о передовом зарубежном опыте в области дорожного асфальтобетона, содержащаяся в информационном сборнике, рассчитана на представителей федеральных и региональных органов исполнительной власти, руководителей и специалистов дорожно-строительных лабораторий, проектировщиков и технических экспертов в данной области, а также для студентов, магистров и аспирантов, изучающих дорожное материаловедение.

ВЫВОДЫ

1. Практический опыт США показывает, что в настоящее время отсутствуют четкие рекомендации по проектированию сбалансированных асфальтобетонных смесей (BMD). Однако данное направление проектирования является прогрессивным и требует поэтапного решения с разработкой альтернативных подходов.
2. Установлено, что в текущих технических условиях США при проектировании асфальтобетонных смесей в 21 штате используются тесты по оценке эксплуатационных характеристик, что составляет 78 %, и 6 штатов (22 %) их не используют.
3. В практике США для оценки ЭХ наиболее часто используется гамбургский метод определения колейности (STA-Hamburg).
4. Все большее распространение получает метод оценки выносливости асфальтобетона путем испытания образца полуцилиндра с надрезом на изгиб.
5. Выбор методов оценки ЭХ асфальтобетона зависит в каждом конкретном случае от условий эксплуатации дорожного покрытия, погодно-климатических условий, применения новых материалов (добавок).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Balanced Mix Design Task Force Update of Activities / Asphalt mixture expert task group (ETG) meeting Salt Lake City, Utah. (ETG BMD TF Update – April 2016). – Электрон. данные. – URL: https://www.asphaltpavement.org (дата обращения: 15.03.2019).*
2. *Balanced Mix Design: Comparison of Volumetric and Balanced Mix Designs. January 19, 2016. Tim Aschenbrener.). – Электрон. дан-*

ные. – URL: https://www.asphaltpavement.org (дата обращения: 15.03.2019).

L I T E R A T U R A

1. Balanced Mix Design Task Force Update of Activities / Asphalt Mixture Expert Task Group (Etg) Meeting. – Salt Lake City, Utah. (ETG BMD TF Update. – April 2016). - Elektron. dannye. – URL: https://www.asphaltpavement.org (data obrashcheniya: 15.03.2019 г.).
2. Balanced Mix Design: Comparison of Volumetric and Balanced Mix Designs. Tim Aschenbrener. – January 19, 2016.). – Elektron. dannye. – URL: https://www.asphaltpavement.org (data obrashcheniya: 15.03.2019 г.).

APPROACH TO PREDICTION OF ASPHALT CONCRETE PERFORMANCES BASED ON FOREIGN EXPERIENCE

Ph. D. (Tech.) ***S.V. Poliakova,***
Head of Division of Scientific and
Technical Information ***N.N. Rubinskaya***
(FAI «ROSDORNII»)
Contact information: polyakovasv@rosdornii.ru;
ontirosdornii@mail.ru

The article provides an analysis of foreign experience (USA) in designing asphalt concrete mixtures optimal compositions and predicting asphalt concrete pavements durability using the most significant performances of asphalt concrete. The research algorithms in this direction allowing the assessment of the qualitative characteristics of asphalt concrete under the operation conditions of road pavement are considered.
Key words: *asphalt concrete mix design, Superpave Methodology (volumetric characteristics), asphalt concrete perfomances, prediction of asphalt concrete road pavements durability.*

Рецензент: д-р техн. наук А.В. Руденский (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 18.03.2019 г.