

собой мобильную смесительную установку. В случае применения комбинированного вяжущего в технологическую цепочку машин включается автобитумовоз. В этом случае по обогреваемой системе трубопроводов битум, разогретый до температуры (170–180 °С), в заданных пропорциях подается во вспенивающую камеру. Вспенивание обеспечивается водой, подаваемой одновременно с битумом. Вспененный битум посредством форсунок, установленных на обособленной рампе, расположенной во фрезерном барабане, подается в материал. После ресайклинга слой из полученной смеси предварительно уплотняется между колесами ресайклера катком, это необходимо для создания одинаковой плотности материала. Затем уложенный сырой материал профилируется автогрейдером, после чего окончательно уплотняется виброкатками. За свежеложенным основанием осуществляется уход путем розлива воды. Данный метод может захватывать 500–800 м. На полученное таким образом основание впоследствии укладываются слои покрытия из асфальтобетона.

По второму методу гранулят привозится на завод непрерывного действия. Технологический процесс включает в себя следующие технологические операции. Существующее асфальтобетонное покрытие фрезеруется при помощи дорожных фрез на заданную глубину, с погрузкой в автотранспорт. Самосвалы доставляют гранулят на складские площадки. На заводе производится смешение всех компонентов, согласно утвержденному рецепту, с высокой точностью дозирования. Готовую смесь транспортируют самосвалами на объект с выгрузкой в асфальтоукладчик и уплотняют катками.

По третьему методу используется ресайклер на гусеничном ходу. Технологический процесс схож с первым методом и имеет преимущества, обусловленные конструктивными особенностями ресайклера. В этом случае ресайклер играет роль завода и укладчика. На машине установлена продольная двухвальная мешалка с производительностью перемешивания до 6 м<sup>3</sup>/мин, а также фрезы с выдвижными барабанами шириной захвата от 2,8 до 4,2 м. Фрезерованный материал попадает в мешалку, где происходит его объединение с вяжущим. Оборудованная различными датчиками такая установка позволяет подобрать дозированную подачу вяжущих и воды. Приготовленная смесь перемещается из смесителя в камеру и распределяется шнеком. Раздвижной уплотнительный орган, расположенный в задней части машины, придает слою требуемый профиль. Для предварительного уплотнения он оборудован трамбующим брусом и вибратором. Вес машины 100 т, производительность в смену – 1500 м одной полосы.

#### Список литературы

1 Царенкова, И. М. Теоретическое обоснование необходимости модернизации автодорожной инфраструктуры // Горизонты экономики. – 2021. – № 4 (63). – С. 55–60.

2 РУП «Белдорцентр» подготовлены новые статистические данные о сети дорог в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://beldor.cent.r.by/2023/03/statistics2023/>. – Дата доступа : 15.09.2023.

3 В Беларуси больше не будут строить новые дороги – Минтранс [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://sputnik.by/20220208/v-belarusi-bolshe-ne-budut-stroit-novye-dorogi--mintrans-1060183526.html?ysclid=lmk2c85zhs840905972>. – Дата доступа : 15.09.2023.

УДК 625.72

## РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

*Е. М. ЖУКОВСКИЙ*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Проектирование дорожных одежд, в том числе и нежестких, является весьма сложным процессом. При проектировании необходимо учитывать множество факторов, которые не связаны между собой, проявляющихся в синергии.

Разработка математической модели, которая бы позволила связать все процессы воздействия описанных выше факторов, невозможна по причине сложности их прогнозирования. Таким образом, пользуясь только аппаратом теории упругости, произвести расчёт дорожных одежд не представляется возможным. Поэтому в настоящее время наибольшее распространение получили механико-эмпирические (полуэмпирические) методы. В таком случае при анализе напряженно-деформированного состояния используются методы теории упругости, а также эмпирические зависимости между напряжениями и деформациями с параметрами внешней нагрузки. Особенностью проектирования дорожных одежд является назначение критериев эксплуатационных характеристик на конец расчётного срока службы [1].

Впервые необходимость учёта влияния воды на грунт при устройстве дорожных одежд была обоснована в XIX веке в начале строительства щебеночных покрытий. Так, Джон Макадам считал, что грунт может выдержать любую нагрузку, если он защищен от переувлажнения. Основным принципом таких дорожных одежд было создание плотной «щебеночной коры», защищавшей нижележащий грунт от поступления влаги. Значительный вклад в улучшение щебеночных покрытий был произведен во Франции, в частности в работах Антуана Реми Полонсо. Толщина слоя покрытия таких дорожных одежд определялась исходя из несущей способности грунта, прочности щебня и возможности его уплотнения [2].

Первые попытки учета влияния климата и действия колесной нагрузки при проектировании дорожных одежд в отечественной практике были предприняты Е. С. Головачевым во второй половине XIX века [3]. Они включали в себя рекомендации по продолжительности возведения земляного полотна различной высоты в различных климатических условиях, требования к минимальным высотам насыпей для различных грунтов в зависимости от его уплотнения, рекомендации по выбору материалов для щебеночного покрытия. Толщину слоя было предложено определять, корректируя стандартную толщину с учетом фактической пористости применяемого каменного материала. Данные попытки были основаны на опыте наблюдения за устроенными в Российской империи дорогами и носят эмпирический характер.

Методы проектирования дорожных одежд, используемые в начале XX века, были также основаны на несущей способности грунтов земляного полотна. Например, методики Харджера, Масачузетская, Доунса, А. И. Анохина, Бугаева и др. [4]. Основное допущение данных методов, что давление передается равномерно под углом  $45^\circ$  от неподвижного колеса без учета интенсивности движения. Данные методики носили строго эмпирический характер и были разработаны для конкретных условий строительства и эксплуатации дорог. При этом Г. Д. Дубелир [5] считал в целом невозможным расчёт на прочность дорожных одежд, а основным критерием выбора толщины назначался экономический.

*Отечественный опыт проектирования нежестких дорожных одежд.* Впервые необходимость учета интенсивности движения была обоснована в СССР в 1929 г. Н. Н. Ивановым и поддержана инженерами из Германии и США [6].

В дальнейшем, в результате исследований, проведенных в СССР в 1930–1940 гг. под руководством Н. Н. Иванова, была разработана методика проектирования нежестких дорожных одежд, отличительной особенностью которой являлся учёт состава и напряженности движения на дороге, влияния климата и гидрологических условий, требований к ровности дороги, характеристик подстилающих слоев [7]. Расчёт конструкций по данной методике осуществлялся по допускаемому прогибу на поверхности дорожной одежды на основании модуля деформации.

Данная методика получила свое развитие, и в последующем неоднократно уточнялась и дополнялась в инструкциях по проектированию дорожных одежд нежесткого типа различных лет. Значительный вклад в развитие методики проектирования нежестких дорожных одежд внесли А. М. Кривисский, М. Б. Корсунский, П. И. Теляев, П. Д. Россовский, Н. А. Пузаков, Ю. М. Васильев, В. Ф. Бабков, П. В. Горельшев, В. Д. Казарновский и др. Так, с 1973 года основным критерием проектирования дорожных одежд, вместо допускаемой деформации, является упругий прогиб дорожной конструкции. Кроме того, были уточнены и дополнены принципы учёта интенсивности и распределения транспортного потока.

В последующем положения данной методики получили развитие в национальных документах Беларуси, Украины, России, Казахстана, Узбекистана и др.

Совершенствованию методов проектирования и конструирования нежестких дорожных одежд в Республике Беларусь посвящены работы В. А. Веренько, В. Н. Яромко, В. В. Штабинского и др.

До 2008 года основными критериями расчета дорожных одежд являлись: для дорожной одежды в целом – упругий прогиб, осушение, морозостойчивость; для покрытий – растяжение при изгибе монолитных слоев, сдвигоустойчивость; по учёту интенсивности движения – среднесуточная. При этом были введены новые критерии расчёта нежестких дорожных одежд: для покрытий – температурная трещиностойкость, накопление остаточных деформаций (колеобразование), сдвиг; для слоев основания – сдвиг, накопление остаточных деформаций; для земляного полотна – сдвиг, накопление остаточных деформаций; по учёту интенсивности – суммарная за срок службы [8].

В качестве основного критерия для расчёта дорожных конструкций В. Н. Яромко предлагалось ввести показатель ровности, однако из-за недостаточной разработанности метода он не был включен в итоговый вариант ТКП 45-3.03-112-2008 [9].

В настоящее время согласно данным нормам приняты следующие этапы проектирования и расчета нежестких дорожных одежд:

- расчет дорожных одежд на прочность (основной расчет по допускаемому упругому прогибу);
- проектирование устройств по осушению дорожных одежд;
- обеспечение морозостойчивости дорожных одежд и земляного полотна.

Учет транспортной нагрузки, ее интенсивности и величины осуществляется на этапе расчета по величине допускаемого упругого прогиба, который напрямую связан с модулем упругости на поверхности дорожной одежды.

В государствах, таких как Украина, Узбекистан, Казахстан, Российская Федерация и др., где правила проектирования нежестких дорожных одежд, как и в Беларуси, основаны на работах проф. Иванова, существенные отличия в их проектировании отсутствуют. Основное отличие заключается в особенностях дорожно-климатического районирования, а также значении коэффициентов, учитывающих распределение транспортных средств по полосам движения  $f_{пол}$ .

#### Список литературы

- 1 Арус, Н. Н. Обзор и анализ методов проектирования нежестких дорожных одежд для оценки их эффективности в современной международной практике [Электронный ресурс] / Н. Н. Арус, М. Г. Горячев // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2021. – № 3 (29). – Режим доступа : <https://www.adi-madi.ru/madi/article/view/1032>. – Дата доступа : 15.09.2023.
- 2 Ковалев, Я. Н. Введение в инженерное образование. Автомобильные дороги : учеб.-метод. пособие / Я. Н. Ковалев. – Минск : Арт Дизайн, 2010. – 239 с.
- 3 Головачев, С. Е. Об устройстве земских дорог и отношении их к железным путям для развития производительности России / С. Е. Головачев. – Киев : Тип. И. и А. Давиденко, 1870. – 200 с.
- 4 Дорожное дело : учеб. руководство для Автомобильно-дорожн. вузов / А. И. Анохин [и др.]. – М., Л. : Гострансиздат, 1933. – 747 с.
- 5 Дубелир, Г. Д. Эксплуатация автогужевых дорог / Г. Д. Дубелир, Г. Ф. Захаров, Б. И. Тиль. – Л. : Гострансиздат, 1934. – 478 с.
- 6 Иванов, Н. Н. К вопросу о выборе и определении толщины дорожных одежд / Н. Н. Иванов // Транспорт и дороги города. – 1936. – № 4. – С. 17–20.
- 7 Выбор конструкций дорожных одежд (Теория прочности и методы расчета) / под ред. Н. Н. Иванова, А. М. Кривиского; НКВД СССР, Гл. упр. шоссежных дорог «ДорНИИ». – М. : Дориздат, 1943. – 68 с.
- 8 Яромко, В. Н. О совершенствовании методов расчета нежестких дорожных одежд / В. Н. Яромко // Строительная наука и техника. – 2007. – № 2. – С. 25–32.
- 9 Яромко, В. Н. Отечественный и зарубежный опыт конструирования и расчета дорожных одежд нежесткого типа : обзор. информ. / В. Н. Яромко. – Минск : БелдорНИИ, 2007. – 65 с.

УДК 625

## СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И УЛИЦ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

*А. В. КОРОНЧИК, Е. М. ЖУКОВСКИЙ*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Процесс образования дефектов в виде ям на дорожных покрытиях представляет собой сложное взаимодействие между структурными слоями, выполненными из асфальтобетона, и агрессивными условиями в период зимы. Зимний сезон характеризуется высокой активностью атмосферных факторов, которые оказывают существенное воздействие на состояние дорожной инфраструктуры. Образование и развитие ям и трещин на дорогах негативно сказывается на безопасности дорожного движения, так как водители вынуждены выполнять дополнительные маневры, что повышает риск дорожных происшествий.

Исходя из наблюдений, существует непреложная связь между неблагоприятными атмосферными условиями и появлением дефектов на дорожных покрытиях. В случае обнаружения таких дефектов требуется оперативное вмешательство и реакция со стороны дорожных служб с целью обеспечения безопасности движения.

Традиционный метод аварийного ремонта включает в себя последовательный технологический процесс, в рамках которого специализированные бригады и машины проводят работы по подготовке рабочей зоны в соответствии с предварительно разработанным планом, а затем восстанавливают поврежденное покрытие с использованием специализированных ремонтных материалов. В холодное время года для эффективного ремонта применяются асфальтобетонные смеси специального типа с повы-