

ное 30 секунд, волокна соответствовали размеру 2,5–8 мм. Базальтовые волокна равномерно распределяются в разогретом битуме. При испытании образцов дорожного битума на дуктилометре электро-механическом, образец битума с базальтовым волокном показал более высокую растяжимость по сравнению с образцом без волокна, что обеспечивает трещиностойкость дорожных покрытий.

Базальтовые волокна повышают устойчивость асфальтобетонного покрытия к разрушению, прочность на разрыв и сопротивление колеейности, улучшают высокотемпературные характеристики и вязкоупругость, а также оказывают определенное влияние на усталостную прочность и водонепроницаемость дороги. Кроме того, при некоторых дефектах различных типов волокон в строительных материалах, таких как биоразлагаемость, диспергируемость и поверхностная инертность волокон, вводится целенаправленная модификация волокон на основе методов физической и химической модификации для улучшения эксплуатационных свойств модифицированных волокон в различных условиях [5].

Модификация битумов промышленными отходами – это не только экономически выгодный, но и экологически ответственный подход к производству дорожных материалов. Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на оптимизацию составов и разработку новых технологий применения модифицированных битумов в дорожном строительстве. Такой подход позволяет не только улучшить эксплуатационные характеристики дорожного покрытия, но и внести значительный вклад в охрану окружающей среды.

#### Список литературы

- 1 Ласман, И. А. Модификация асфальтобетона бытовым отходом полиэтиленгликольтерефталатом / И. А. Ласман, Е. А. Соломников, Е. О. Иванов // Инновации в строительстве, 2023 : сб. трудов конференции, Брянск, 6–8 апр. 2023 г. – Брянск, 2023. – С. 281–283.
- 2 Есина, А. Ю. Полимерная модификация битума как способ повышения качества дорожно-строительных композиций / А. Ю. Есина, А. А. Григоров, М. И. Вициенко // Сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова, посвящ. 170-летию со дня рождения В. Г. Шухова. – Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2023. – С. 70–74.
- 3 Александров, Д. Ю. Перспектива использования отходов базальтовых волокон в дорожной отрасли / Д. Ю. Александров // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных : материалы Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, 8–9 февр. 2017 г. – Омск : СибАДИ, 2017. – С. 17–20.
- 4 Секерин, В. Д. Отходы базальтового волокна – в доходы / В. Д. Секерин, А. Е. Горохова, Е. Н. Новикова // Экономика и предпринимательство. – 2016. – № 8. – С. 417–419.
- 5 Мордас, М. С. Оценка эффективности применения базальтового волокна в дренирующем асфальтобетоне / М. С. Мордас, Е. М. Жуковский // V Бетанкуровский международный инженерный форум : сб. тр., Санкт-Петербург, 29 нояб. – 1 дек. 2023 г. В 2 т. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения Императора Александра I, 2023. – С. 53–56.

УДК 656.1/5:621.331

## СОВРЕМЕННОЕ ЭНЕРГО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА

*В. М. ОВЧИННИКОВ, В. В. МАКЕЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время передовые страны обеспокоены истощением топливно-энергетических ресурсов и значительным ухудшением состояния окружающей среды и, прежде всего, началом глобального потепления. Будучи важным компонентом экономики, транспортный сектор привлекает внимание стран всего мира. Транспорт занимает видное место в решении экономических и социальных сторон любой страны. Он является энергоёмким видом деятельности и оказывает воздействие на окружающую среду. Транспорт не является производителем товаров, а осуществляет доставку этих товаров от производителей до потребителей. Кроме того, транспорт осуществляет перевозку людей, одни из которых производят товары, а другие потребляют эти товары. В результате транспорт играет ключевую роль в экономике и жизни общества.

XXI век неразрывно связан с высокими технологиями, развитием связей между странами, требует коренной модернизации средств передвижения, грузов и человека, ставит перед человеком крупнейшие инженерно-технические задачи очередного транспортного прорыва. Таким образом, транспорту в экономическом развитии стран отводится роль «локомотива». При этом транспорт во многом определяет решение энергетических и экологических проблем как в местном, так и в глобальном масштабе.

Рассмотрим состояние наземного транспорта и перспективы его развития. Ходьба и бег, два естественных способа человеческого передвижения преобладали в доиндустриальных обществах. Бег требует затрат энергии [1], в 10–20 раз больше, чем при базовом обмене веществ. Медленно бегущий человек весом 70 кг затрачивает 80 Вт; а мощность опытного марафонца, одолевшего дистанцию (42,195 км) за 2,5 часа, в среднем составит около 1300 Вт. Кстати, забег греческого воина Фидиппида перед битвой при Марафоне в 490 году до н. э. стал образцом беговой выносливости. Дистанция в 240 км была преодолена бегуном Фидиппидом всего за два дня, при этом средний выход мощности составил около 800 Вт (чуть больше одной лошадиной силы).

Одомашнивание лошадей позволило получить новый, более мощный и быстрый транспорт. Лошади были первичным двигателем, который широко использовался на транспорте и определял его энергетику. Отход от конного транспорта начался в конце 1880-х гг. с появлением электрического трамвая.

К началу XX века электрический трамвай в основном заменил лошадей в качестве средства общественного транспорта. Лишь после того, как завершилась разработка двигателя внутреннего сгорания и его внедрили в грузовых и легковых автомобилях – на это ушло время с 1900 по 1915 г., механический транспорт сменил городских лошадей.

Автомобильный транспорт связывают с Генри Фордом. До того, как построить свой первый автомобиль, Генри Форд работал в «Осветительной компании» Эдисона. Создаваемые электрические автомобили не могли уехать далеко от станции подзарядки. Первый автомобиль Форда имел двухцилиндровый четырехтактный бензиновый двигатель внутреннего сгорания мощностью четыре лошадиные силы.

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС), можно сказать, спас нефтяную индустрию, потому что в течение 40 лет своего существования она занималась лишь освещением. Её основным продуктом был керосин, который заливали в осветительные лампы и использовали по всему миру в качестве источника света. Но в начале XX в. всё большую популярность стало приобретать электрическое освещение. И тут, очень вовремя, появился бензиновый ДВС. До этого бензин представлял собой побочный продукт, взрывоопасную и легко воспламеняющуюся фракцию переработки нефти, практически бесполезную составляющую, и её сжигали часто при добыче. Но с появлением автомобилей выяснилось, что бензин является очень эффективным источником энергии, если использовать его в ДВС в качестве топлива.

Первый лёгкий бензиновый двигатель, подходящий для мобильного использования, был разработан Даймлером и Майбахом. В 1900 г. Майбах сконструировал автомобиль Mercedes 35, который назвали первым современным автомобилем по всем основным параметрам. Кстати этот автомобиль назван по имени дочери хозяина салона Daimler. Автомобиль Mercedes 35 имел двигатель мощностью 26 кВт (35 л. с.).

После Второй мировой войны автомобили имели бензиновые двигатели мощнее 80 кВт (около 110 л. с.). Самая мощная модель Mercedes (AMG E63-s) имела двигатель в 610 л. с. Это означает, что максимальная мощность высокопроизводительных автомобилей возросла примерно в 30 раз. Основной причиной роста мощности бензиновых двигателей легковых автомобилей было увеличение их массы, которое происходило, несмотря на использование более легких материалов, таких как алюминий, магний и пластмассы. Более быстрое ускорение и более высокая максимальная скорость являлись вторичным фактором. Вес рос в связи с появлением более просторных салонов, автоматической коробки передач, кондиционеров, аудиосистем, улучшенной тепло- и звукоизоляции, и многочисленных сервоприводов, которые используются в стеклоподъемниках, зеркалах, сиденьях и дверях.

Завершая тему автомобилей с бензиновыми двигателями, следует отметить, что в настоящее время в США почти все пассажирские автомобили оснащены бензиновыми двигателями, а на долю дизелей приходится всего 3 % (в США бензин гораздо дешевле), в Евросоюзе около 40 % автомобилей оснащены дизельными двигателями. Исторически автомашины всегда являлись главным пунктиком американской жизни.

Теперь о дизельных двигателях. Сейчас дизельные ДВС эффективнее на 15–20 %, чем бензиновые. Кроме того, есть ещё несколько преимуществ: дизель работает на топливе с большей плотностью энергии (оно содержит почти на 12 % больше энергии, чем такой же объём бензина). Воспламенение топлива осуществляется не точно, что приводит к более полному сгоранию. Дизельное топливо является топливом более низкого качества (а значит более дешёвым); современные электронные системы впрыс-

ка, впускных и выпускных органов позволяют увеличить эффективный КПД двигателя и снизить выбросы вредных веществ в окружающую среду.

На автомобиле действующий прототип дизельного ДВС появился только в 1936 г. (Mercedes-Benz 2600). Началось широкое внедрение дизельного ДВС на транспорте: на железной дороге и в судостроении в первую очередь. В 1930-х гг. паровозы были заменены тепловозами, т. е. локомотивами с дизельной силовой установкой вместо паровой машины. Такая инновация позволила устранить главный недостаток паровоза – его принципиально низкую энергетическую эффективность (КПД в эксплуатации не более 6–8 %), которая не соответствовала уровню науки и техники в 1930-х гг. Следует отметить, что первые магистральные тепловозы были построены в СССР в 1925 г. по проектам Ю. В. Ломоносова и Я. М. Гаккеля. Современные тепловозные дизели имеют КПД на номинальном режиме более 40 %.

Самая успешная инновация послевоенного периода на железнодорожном транспорте – это быстрые электрифицированные поезда дальнего следования. Обладая значительными преимуществами по сравнению с другими видами транспорта (экономичность, экологическая чистота, высокий уровень безопасности и комфорта), высокоскоростные железные дороги получают всё большее распространение. По данным Международного союза железных дорог (МСЖД), при времени в пути по магистральной части маршрута до 2,5 часов более 75 % пассажиропотока приходится на высокоскоростные магистрали (ВСМ). В современном мире, в котором ценятся удобство, время, низкая энергоёмкость и низкие углеродные выбросы, высокоскоростной электропоезд всегда будет наилучшим выбором для путешествий на расстояния 150–600 км [3].

В настоящее время Китай [4] стал мировым примером в использовании высокоскоростного железнодорожного транспорта. Общая протяженность высокоскоростных магистралей (ВСМ) на 2024 г. составила 46 тыс. км. Главным показателем транспорта является энергоёмкость. Этот показатель очень важен для Китая, страны, в которой запасы жидкого топлива невелики, а именно жидкое топливо широко используется на различных видах транспорта. Транспорт обеспечивает мобильность населения, а Китай является второй по населению страной (первой стала Индия) в мире и для его трудовых ресурсов очень важна мобильность. Ни один из видов междугородного транспорта не может сравниться по энергоёмкости с высокоскоростными междугородными поездами. Китай является страной, в которой ВСМ соединяют все крупные города в густонаселенных восточных районах. В настоящее время такая богатая страна как США не догоняет Китай по освоению высокоскоростных магистралей.

Китай принял стратегию развития «Низкий углеродный след + Транспорт», основными характеристиками которой являются: всестороннее низкоуглеродное развитие, причём не в отрыве одной отрасли от другой; отсутствие карбонизации в любом из звеньев транспортной системы; решения в технологии, эксплуатации и другие, требующие инновационного мышления; непосредственное влияние транспорта на качество жизни человека и экономическое развитие в среде обитания человека, основанной на принципе «человек превыше всего»; повышение социального состояния и сокращение разрыва между богатыми и бедными.

Если для обычных железных дорог энергопотребление на одного пассажира на километр пройденного пути установлено [2] на уровне 1,0 кВт·ч/пас·км, то для легковых автомобилей – 8,5 кВт·ч/пас·км, для самолетов – 7,44 кВт·ч/пас·км. Удельный расход энергии высокоскоростным железнодорожным транспортом значительно ниже и составляет в среднем менее 0,5 кВт·ч/пас·км. Например, скорость поезда CRH380A (L) на высокоскоростной железной дороге Пекин – Гуанчжоу достигает 300 км/ч при энергопотреблении на одного пассажира в восемь раз меньше потребления легковыми автомобилями и в три раза меньше топливопотребления крупногабаритными автобусами.

Для транспорта, кроме энергоэффективности, которую часто называют пятым видом топлива, главной является борьба с загрязнением окружающей среды выхлопными газами. Причём сначала государства стали вести эту борьбу в крупных городах, где сосредоточено много транспортных средств с двигателями внутреннего сгорания. Затем к этому добавилась обеспокоенность изменением климата, потепление которого, как показывают многие исследования, вызвано дополнительным выбросом парниковых газов, основным из которых является углекислый газ.

В глобальном масштабе 15 % выбросов углекислого газа приходится на транспорт. Первым мероприятием по уменьшению выбросов углекислого газа транспортом является замена транспортных средств, имеющих углеводородное топливо, такими средствами, которые не имеют ДВС. Таким назем-

ным транспортным средством является электромобиль. Кроме того, электромобиль проще в устройстве, надёжнее в эксплуатации, может существенно смягчить воздействие скачков цен на нефть, а значит на нефтяное топливо.

Аккумулятор – это сердце электромобиля, так же как двигатель внутреннего сгорания (бензиновый и дизельный) является сердцем автомобиля. Для перехода на электромобили требовался новый аккумулятор, а не используемый в автомобильной индустрии свинцовый аккумулятор. Созданные литий-ионные батареи обладают малой массой и высокой плотностью энергии. Аккумуляторы должны быстро заряжаться, иметь большой срок службы, несмотря на непрерывную разрядку и подзарядку. Помимо двигателя автомобиля аккумуляторы должны обеспечивать электроэнергией и разного рода устройства – от усилителя руля до кондиционера. Также необходимо существенно снизить стоимость.

Вторая проблема электромобилей – инфраструктура. Для большого парка электромобилей потребуется густая сеть станций подзарядки. Трансформаторные подстанции должны обеспечить подзарядку, если все жители обслуживаемых кварталов одновременно поставят электромобили на подзарядку.

Кроме вышеназванных проблем, следует принимать во внимание, что при производстве электромобилей используются редкоземельные металлы, причём их в два раза больше, чем в автомобилях с ДВС. А учитывая, что Китай является ведущей страной в мире по добыче многих редких металлов (относительная доля Китая при производстве редкоземельных металлов в мировом горнорудном и металлургическом производстве около 90 % [6]), возникает опасность, что страны-производители электромобилей окажутся в зависимости от одной страны – Китая.

При эксплуатации электромобилей их батареи заряжаются электричеством, которое используется в данной стране. В среднем по миру 60 % электроэнергии получают из ископаемого топлива, а значит и для использования в электромобилях. Но ископаемое топливо, сгорая на тепловых электростанциях, образует парниковые газы. Следовательно, в этом случае электромобиль, который потребляет такое электричество, не является экологически чистым видом транспорта.

В настоящее время экологически чистая электроэнергия производится в Норвегии (97 % вырабатывается на ГЭС) и Франции (75 % на АЭС).

Если заряжать все электромобили от возобновляемых источников электричества, парниковые газы будут выбрасываться в атмосферу при производстве цемента и стали, технологии которых требуют затрат углеводородного топлива (только при строительстве колонны ветрогенератора высотой около 150 м требуется 1500 т железа и 2500 т бетона), изготовлении ветро- или гелиогенераторов, а также при производстве самих электромобилей. Воздействие производства электромобилей на окружающую среду этим не ограничивается. Производство электромобилей при сроке их службы 20 лет создаёт в три раза больше токсичных отходов, чем производство автомобиля с ДВС. Причина в основном заключается в большем использовании тяжёлых металлов [2].

В итоге для развития низкоуглеродного транспортного сектора необходимы низкоуглеродное развитие всех составляющих промышленной цепочки транспортной отрасли, а также низкоуглеродное производство, эксплуатация и утилизация транспортных средств.

Вышеперечисленное приведено не для того, чтобы отказаться от электромобилей – наиболее экологически чистого вида транспорта. Указывая на уже выявленные проблемы (в последующем проблемы проявятся дополнительно), мы подчёркиваем, что нужно оценить и понять последствия новой технологии, а не судить поверхностно и делать громкие заявления в её пользу. Нельзя просто вообразить идеальные, не загрязняющие окружающую среду машины, – и бесспорно приниматься насаждать их.

#### Список литературы

- 1 Смил, В. От микроорганизмов до мегаполисов. Поиск компромисса между прогрессом и будущим планеты : [пер. с англ.] / В. Смил. – М. : Эксмо, 2023. – 704 с.
- 2 Смил, В. Как устроен мир на самом деле: Наше прошлое, настоящее и будущее глазами учёного: [пер. с англ.] / В. Смил. – М. : КоЛибри : Азбука-Аттикус, 2022. – 384 с.
- 3 Якунин, В. И. В будущее России, с высокой скоростью : монография / В. И. Якунин. – М. : Научный эксперт, 2012. – 216 с.
- 4 Цзэн Шаоцзюнь. Новый путь: Китайская стратегия. «Низкий углеродный след+» : [пер. с англ.] / Цзэн Шаоцзюнь. – СПб. : TeamBook2 : ИГ «Лениздат», 2022. – 496 с.
- 5 Роудс, Р. Энергия : История человечества : [пер. с англ.] / Р. Роудс. – М. : КоЛибри : Азбука-Аттикус, 2021. – 496 с.
- 6 Питрон, Г. Третья цифровая война: Энергетика и редкие металлы : [пер. с англ.] / Г. Питрон. – М. : Альпина Про, 2021. – 234 с.