

Первоначально будем рассматривать задачу без учета ограничения (4):

$$E = f(v_1, v_2, \dots, v_n, h) = l \sum_{j=1}^n c_j \frac{N_j}{v_j} \rightarrow \min; \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n \beta_j v_j^2 = 12,96 \frac{ghR}{S}, \quad h = 12,5 \frac{v_{\max}^2}{R} - 163 a_{\text{нп}}. \quad (10)$$

Тогда функция Лагранжа примет вид

$$L(v_1, v_2, \dots, v_n, h, \lambda_1, \lambda_2) = l \sum_{j=1}^n c_j \frac{N_j}{v_j} + \lambda_1 \left(12,96 \frac{ghR}{S} - \sum_{j=1}^n \beta_j v_j^2 \right) + \lambda_2 \left(12,5 \frac{v_{\max}^2}{R} - 163 a_{\text{нп}} - h \right). \quad (11)$$

Оптимальные скорости движения поездов j -й категории по кривой определенного радиуса при оптимальном возвышении наружного рельса, допустимых значениях непогашенного ускорения, соблюдении условия равнонагруженности рельсовых нитей и условия комфортабельности езды пассажиров составят

$$v_j = \left(\frac{c_j N_j}{\beta_j} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{12,96 gR \left(12,5 \frac{v_{\max}^2}{R} - 163 a_{\text{нп}} \right)^{\frac{1}{2}}}{S \sum_{j=1}^n (c_j N_j)^{\frac{2}{3}} \beta_j^{\frac{1}{3}}} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (12)$$

При полученных оптимальных значениях скоростей движения поездов j -й категории по кривой определенного радиуса приведенные расходы будут минимальными и составят

$$E = l \sum_{j=1}^n c_j N_j \left[\left(\frac{c_j N_j}{\beta_j} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{12,96 gR \left(12,5 \frac{v_{\max}^2}{R} - 163 a_{\text{нп}} \right)^{\frac{1}{2}}}{S \sum_{j=1}^n (c_j N_j)^{\frac{2}{3}} \beta_j^{\frac{1}{3}}} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{-1}.$$

Варьируя значения непогашенного ускорения от 0,7 до 0,9, будут определены оптимальные скорости движения поездов каждой категории, при которых приведенные расходы на увеличение скорости в кривых будут минимальными.

Таким образом, выбор варианта реконструкции круговых кривых для организации скоростного движения на эксплуатируемых линиях будут производиться при полученном оптимальном распределении скорости движения поездов различных категорий и минимальных капиталовложениях.

УДК 625.84

УСТРОЙСТВО БЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Ю. А. ЛИСОВСКАЯ, А. С. РОМАНОВ, Н. В. ШКУРАТОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Модернизация цементобетонных заводов в Республике Беларусь позволила увеличить на внутреннем рынке предложение относительно недорогого цемента. Изменения в области жилищного строительства вызвали необходимость в поисках дополнительного внутреннего массового потребителя цемента. Бетонные покрытия в Беларуси массово строили к Олимпиаде 1980 года, но после этого данная технология использовалась лишь эпизодически. В то время как за рубежом накоплен достаточно богатый опыт устройства цементобетонных покрытий не только в период нового строительства, а также при капитальном ремонте и реконструкции автомобильных дорог. Вторая минская кольцевая автомобильная дорога стала первым за 40 лет объектом дорожного строительства, на новых участках которого устроено цементобетонное покрытие (почти 80 км). При этом на некоторых местных автомобильных дорогах также производится устройство таких покрытий.

При сравнении асфальто- и цементобетонных покрытий трудно заранее отдать предпочтение какому-либо варианту. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Для цементобетонных

покрытий характерны высокая жесткость и невысокая прочность при работе на изгиб, развитие необратимых трещин, для асфальтобетонных – двойственность свойств, которые зависят от условий внешней среды. Асфальтобетон при положительных температурах является упруго-пластичным телом, при отрицательных – хрупким. В каждом конкретном случае необходимо производить детальное технико-экономическое сравнение нескольких конструктивно-технологических решений.

На участках нового строительства в Республике Беларусь на сегодняшний день отдается предпочтение устройству однослойных монолитных покрытий толщиной от 16 до 24 см. Наименьшая толщина характерна для покрытий на местных дорогах, наибольшая – для магистральных автомобильных дорог. Укладка производится комплектами Wirtgen и Gomako. Специалистами дорожной отрасли также был произведен обзор современных достижений в данном направлении и некоторые из них проходят апробацию в наших условиях.

Технология устройства однослойного покрытия методом сращивания комплектом из двух бетоноукладчиков Wirtgen предполагает последовательное (без технологического разрыва) устройство двух слоев бетонного покрытия с погружением штырей в объем нижнего слоя. Таким образом, возможная воздушная полость над погруженным штырем оказывается закрыта толстым слоем бетона, что исключает попадание туда влаги, возможное при простой однослойной укладке. Метод сращивания эффективен при использовании в конструкции одного слоя двух видов бетона. В нижний слой можно укладывать более дешевые смеси в верхний – более дорогие. Это возможно за счет управления свойствами готового бетона на этапе проектирования состава цементобетонной смеси. К верхнему слою цементобетонного покрытия предъявляются высокие требования по истираемости, коррозионной стойкости, плотности и т. д. Однако на опытных участках МКАД-2 при использовании метода сращивания применялся только один вид цементобетонной смеси. Это объясняется отсутствием методик расчета конструкции дорожной одежды с такими равнопрочными слоями. В данный момент активно ведутся работы по разработке соответствующих технических нормативно-правовых актов.

Наиболее уязвимым элементом цементобетонных покрытий в процессе эксплуатации являются деформационные швы. Разгерметизация шва неизбежна, и она приводит к попаданию влаги под плиту и коррозии штырей. Последние для предотвращения коррозии покрываются различными полимерными составами. Еще одной особенностью штырей в швах является их деформация, которая приводит к возникновению уступа между плитами. Величина уступа зависит больше от вида основания, чем от других факторов. Асфальтобетонное основание гасит колебания плит и практически не позволяет образоваться уступу. Однако в Беларуси такие комбинации дорожно-строительных материалов коагуляционной и кристаллизационной структур в конструкции одной дорожной одежды не используются. Частично это объясняется отсутствием должного обоснования принципов работы в наших условиях и экономической эффективности данного варианта в долгосрочной перспективе (на срок до 50 лет).

Наибольший интерес в перспективе представляют конструкции и технологии, связанные с капитальным ремонтом нежестких дорожных одежд с использованием цементобетона. Этот вариант предполагает фрезерование существующего асфальтобетонного покрытия, устройство выравнивающего слоя (при необходимости) и последующее устройство слоя из цементобетона. Существующая нежесткая дорожная одежда выполняет в данном случае демпфирующую функцию. Такие слои по толщине классифицируются на традиционные (более 20 см), тонкие (20–10 см) и ультратонкие (менее 10 см). В Беларуси разработан и действует нормативный документ [1], предполагающий устройство слоев традиционной толщины.

Особенностью таких слоев является расстояние между швами, которое зависит от толщины покрытия. При устройстве ультратонких слоев покрытие придется нарезать на плиты со стороной 1,5–18 м. Это приведет к возникновению большого числа возможных дефектов (сколы кромки, разгерметизация шва и т. д.). Однако именно ультратонкие слои наиболее перспективны, так как позволяют снизить итоговую стоимость производства работ. Даже при наличии обязательного слоя проклеивания между ультратонким слоем цементобетона и нижележащим основанием. Недостаточную прочность на изгиб таких слоев можно повысить дисперсным армированием.

Например, при капитальном ремонте нежесткой дорожной одежды на участке автомобильной дороги II технической категории протяженностью 3 км в Добрушском районе Гомельской области можно предложить два варианта ремонта. Конструкция дорожной одежды по первому варианту (традиционный ремонт с использованием асфальтобетона): выравнивающий слой из черного щеб-

ня толщиной 8 см по фрезерованному покрытию, крупнозернистый пористый асфальтобетон толщиной 8 см и асфальтобетон мелкозернистый на резинобитумном вяжущем толщиной 4 см. Конструкция дорожной одежды по второму варианту: выравнивающий слой из черного щебня толщиной 8 см по фрезерованному покрытию и тяжелый бетон толщиной 21 см. Толщина слоя бетона определена согласно требованиям, представленным в [1]. Традиционная конструкция при капитальном ремонте рассчитана согласно действующим техническим нормативно-правовым актам.

Структура стоимости по элементам затрат представлена на рисунке 1 в ценах на май 2018 года. Желтые столбцы диаграммы соответствуют традиционному варианту капитального ремонта с использованием асфальтобетона, синие – варианту с использованием цементобетона. Общая стоимость на капитальный ремонт для слоёв усиления из асфальтобетонных смесей составила 499912,38 руб., а для слоя усиления из цементобетонных смесей – 738184,67 руб. Такое различие объясняется прежде всего толщиной слоя цементобетона и затратами на транспортировку.

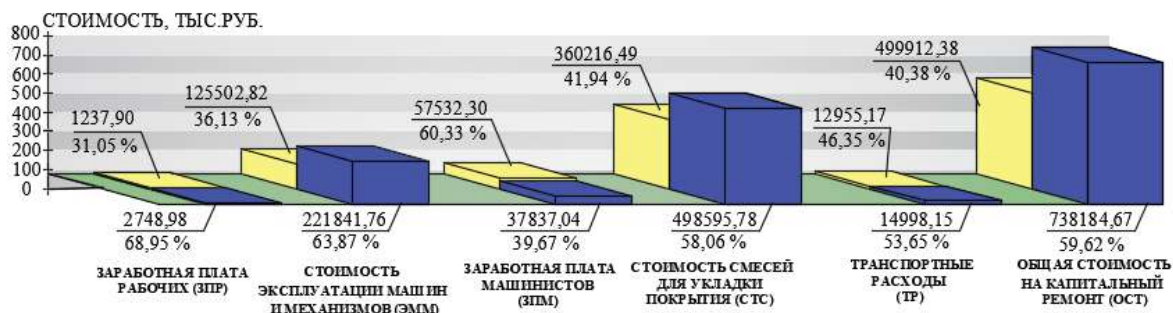


Рисунок 1 – Структура стоимости по вариантам капитального ремонта

Более половины суммарных затрат приходится на стоимость материалов. Это позволяет наметить пути сокращения затрат: использование отходов промышленности, сокращение толщины слоя цементобетона, широкое использование местных и некондиционных материалов и т.д. Однако сравнение затрат в долгосрочном периоде эксплуатации может привести к другому соотношению. Цементобетонные покрытия нуждаются в меньшем количестве текущих и капитальных ремонтов, стоимость содержания должна оказаться примерно одинаковой. Но точные данные достаточно тяжело спрогнозировать, так как прогнозных моделей изменения транспортно-эксплуатационного состояния дорожной одежды с цементобетонным покрытием на сегодняшний день в Беларуси нет.

Список литературы

1 Рекомендации по применению цементобетона для восстановления прочности дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями: ДМД 33200.2.085–2017 : [утв. БелдорНИИ 29.05.2017 : срок действия с 01.07.17 до 01.07.22]. – Минск, 2017. – Т. III. – 18 с.

УДК 625.144.6

ПРОГРАММА РАСЧЕТА УКОРОЧЕНИЙ ЗВЕНЬЕВ ПУТИ И ПОРЯДКА ИХ УКЛАДКИ

В. И. МАТВЕЦОВ, В. Л. МОИСЕЕНКО, Н. В. МОИСЕЕНКО, В. И. ЖИГАР
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Железнодорожный путь состоит из прямолинейных и криволинейных участков. При укладке криволинейных участков наружная рельсовая нить идёт с забеганием относительно внутренней, так как они имеют разные радиусы внутренней и наружной рельсовых нитей.

Перед сборкой звеньев рельсошпальной решетки на поточной звеносборочной механизированной линии для сборки звеньев пути с железобетонными шпалами необходимо выполнить следующие виды работ:

1 Натурные промеры участка, на котором будет выполняться замена рельсошпальной решетки.

2 Составление на основе натуральных промеров схемы укладки с указанием количества укладываемых звеньев, порядка формирования пакетов звеньев в составе укладочного поезда, дополнительных сведений, таких как расположение изолирующих стыков, наличие укороченных звеньев и др.