

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОМПЛЕКТА МАШИН ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ РЕГЕНЕРАЦИИ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ

SELECTION AND SUBSTANTIATION OF APPLICATION OF RATIONAL OPERATION MODES OF MACHINE COMPLEX FOR HOT REGENERATION OF ASPHALT CONCRETE SURFACES

А. Н. Максименко, кандидат технических наук, профессор кафедры «Строительные, дорожные, подъемно-транспортные машины и оборудование» ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Беларусь

А. И. Лопатин, генеральный директор РУП «Могилевавтодор», г. Могилев, Беларусь

Е. А. Косенко, магистр технических наук ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Беларусь

Д. Ю. Макацария, кандидат технических наук, доцент кафедры правовой информатики прикладных дисциплин УО «Могилевский высший колледж МВД Республики Беларусь», г. Могилев, Беларусь

В статье рассматриваются вопросы роста недоремонта автомобильных дорог, приводится обоснование применения горячей регенерации асфальтобетонного покрытия и выбор рациональных режимов работы машин при реализации технологии восстановления дорожного покрытия непосредственно на дороге.

The article deals with the issues of growing insufficient repair of motor roads, gives substantiation of the application of hot regeneration of asphalt concrete surfaces and selection of rational operation modes of machines during implementation of road surface restoration technology directly on the road.

ВВЕДЕНИЕ

Перспективы социально-экономического развития Республики Беларусь во многом зависят от качества автодорог, их транспортно-эксплуатационного состояния. К сожалению, из-за недостаточного финансирования ежегодно увеличивается недоремонт автомобильных дорог (по капитальному и текущему ремонту). Так, недоремонт дорог в год составляет до 15 % и на 2012 год он составил уже более 40 % (рис. 1).

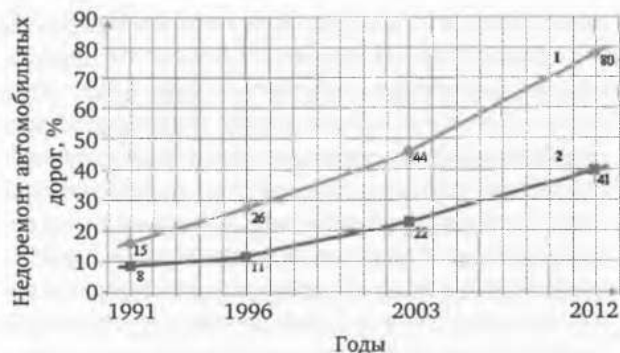
Решить задачи по сохранению и восстановлению работоспособности автомобильных дорог в сложившихся условиях можно при внедрении технологии горячей регенерации асфальтобетонных покрытий.

Применение этой технологии позволит не только восстановить работоспособность автомобильных дорог, но и значительно снизить расходы энергоресурсов и строительных материа-

лов, что очень важно в условиях резкого роста цен на них. Горячая регенерация асфальтобетонного покрытия на дороге широко используется в США, западноевропейских и других странах.

Эффективное обновление дорожного покрытия путем его переработки на месте стало возможно с появлением новых комплектов машин и механизмов. Несмотря на то, что стоимость этих комплектов машин в несколько раз дороже комплекта машин по устройству новых слоев покрытия, что приводит к увеличению себестоимости механизированных работ в 5 и более раз, экономия стоимости проекта достигает 10 %–30 % по сравнению с обычным методом ремонта покрытия – фрезерованием и укладкой нового слоя. Качество восстановления автомобильной дороги комплектом «Ремиксер» повышается и в результате того, что два слоя дорожного покрытия укладываются на горячее основание, образуя единый монолит [1].





1 - недоремонт автомобильных дорог (по капитальному ремонту); 2 - недоремонт автомобильных дорог (по текущему ремонту)

Рисунок 1 - Диаграмма роста недоремонта автомобильных дорог (по капитальному и текущему ремонту)

Регенерация асфальтобетонного покрытия с одновременной укладкой слоя износа аналогична технологии двухслойной укладки асфальтобетона за один проход по технологии «горячий на горячий», что способствует увеличению ресурса дорожной одежды в 2–3 раза [2].

ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ РЕГЕНЕРАЦИИ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ДОРОГЕ

Тенденция ежегодного роста недоремонта автомобильных дорог во всех регионах Республики Беларусь, ведущая к необратимому процессу ухудшения состояния дорожного покрытия, потребует в ближайшей перспективе увеличения средств на восстановительные работы в 2,5–3 раза [3].

Решение этой проблемы возможно при использовании высокоэффективной техники для регенерации асфальтобетонного покрытия непосредственно на дороге. Расход дорогостоящего материала в этом случае меньше на порядок, что в процессе выполнения работ значительно перекрывает расходы на приобретение новой техники [4]. Важно оценить эффективность использования этой техники производить с учетом экономии используемых материалов, стоимости механизированных работ и ресурса службы дорожного покрытия. Затраты на материалы при реализации отдельных операций многократно превышают стоимость механизированных работ (затраты на материалы асфальтобетонного покрытия при дальности транспортирования асфальтобетонной смеси 20 км в 7,5 раза выше стоимости механизированных работ).

Комплекты машин для регенерации асфальтобетонного покрытия необходимо применять, потому что при эксплуатации автомобильных дорог, требующих капитального ремонта, про-

являются дефекты, которые невозможно устранить, используя традиционные технологии. Ремонтно-профилактические работы в настоящее время в основном ограничиваются поверхностной обработкой. С увеличением нагрузок на оси транспортных средств и увеличением интенсивности движения на дорогах появляются колеи глубиной до 10 см, которые можно удалить только фрезерованием. Фрезерованием дорожного покрытия с последующей поверхностной обработкой можно устранить проблему колеиности на срок 2–4 года, что ведет к значительному удорожанию процесса поддержания работоспособности твердого покрытия дороги. Регенерация асфальтобетонного покрытия позволит восстановить работоспособность автомобильных дорог с увеличением ресурса ее службы в 2–3 раза [2] и значительно снизить расход энергоресурсов и строительных материалов.

В дорожном строительстве наибольшие затраты связаны с потребляемыми энергоресурсами, материалами и механизацией производственных процессов. Поэтому экономия строительных материалов и используемых энергоресурсов, а также снижение себестоимости механизированных работ приобретают в современных условиях особую значимость. На автомобильных дорогах наиболее материал- и энергоемкими процессами являются строительство и ремонт дорожного покрытия.

Применение высокотехнологичных машин способствует увеличению темпов проведения работ за счет высокой производительности используемой техники, снижению технологических простоев и экономии строительных материалов, что приводит к получению максимальной прибыли. Так, применение методов регенерации асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог позволяет экономить материал за счет снятия, последующей переработки и дальнейшего использования существующего дорожного покрытия.

Анализ показал, что в условиях роста цен на строительные материалы существенно увеличивается и стоимость устройства дорожного покрытия. Это связано в первую очередь с тем, что затраты на материал во много раз превышают затраты на проведение механизированных работ и составляют до 95 % стоимости работ по устройству дорожного покрытия. Экономия строительных материалов снизит затраты на транспортирование их к месту приготовления асфальтобетонных смесей и к месту укладки.

В связи с этим возникают предпосылки для использования высокотехнологичных машин, обусловленные тем, что более высокая стоимость их приобретения компенсируется эконо-



мией затрат на строительные материалы и на выполнение транспортных операций.

Повышение ресурса дорожного покрытия пропорционально увеличивает прибыль от применения комплекта «Ремиксер» и сокращает объем и тенденцию роста недоремонта автомобильных дорог.

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОМПЛЕКТОВ МАШИН ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ РЕГЕНЕРАЦИИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДОРОГЕ

Качество восстанавливаемого дорожного покрытия зависит от температуры укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси, состава смеси. Высокое качество восстанавливаемого покрытия при использовании комплекта «Ремиксер» с одновременной укладкой слоя износа обеспечивается хорошей связью двух слоев покрытия между собой и с основанием. При восстановлении покрытия по этому методу можно целенаправленно влиять на качество смеси, добавляя вяжущие материалы и изменяя состав смеси по специально разработанным рецептам с автоматическим обеспечением контроля за толщиной перерабатываемого слоя покрытия, температурным режимом, ровностью восстанавливаемого покрытия и поперечным уклоном.

Важно при организации работ по горячей регенерации на дороге выбирать рациональные режимы работы комплекта. Его рабочая скорость зависит от начальной температуры покрытия, содержания воды, направления и скорости ветра, а также от типа разогреваемого слоя асфальтобетона. Для оптимизации используемой мощности разогревателей, а также для достижения равномерного прогрева асфальтобетонного покрытия комплект машин «Ремиксер» оснащен специальными устройствами, позволяющими:

- регулировать количество передаваемого покрытию тепла путем изменения расхода газа, подаваемого к горелкам;
- повышать температуру покрытия или быстро отводить водяной пар при влажных асфальтобетонных слоях путем изменения высоты разогревательных блоков;
- разделять разогреваемую площадку на отдельные регулируемые участки для предотвращения влияния ветра.

Применение технологии горячей регенерации на дороге возможно при пониженных температурах воздуха (не ниже +5 °С при применении асфальтозагретителя).

Система регулирования температуры восстанавливаемого покрытия обеспечивается изме-

нением подачи газа, высотой установки рабочей поверхности нагревательных блоков от поверхности покрытия и скоростью движения комплекта. Скорость перемещения комплекта зависит от времени прогревания асфальтобетонного покрытия, которое определяется соотношением между скоростью изменения тепловых условий в окружающей среде и скоростью перестройки поля температуры внутри рассматриваемого тела, определяемой в зависимости от начальной температуры покрытия и крайних значений диапазона распределения температур по глубине прогрева.

Время прогревания асфальтобетонного покрытия зависит от начальной температуры покрытия, толщины нагрева, длины блока нагревательных элементов (горелок инфракрасного излучения) и коэффициента температуропроводности, который для асфальтобетонов различной плотности и различного процентного содержания агрегатов, а также заданной температуры прогрева определяется индивидуально [5].

Рабочую скорость движения комплекта можно определить по формуле в соответствии с [6]

$$V_M = \frac{l \cdot a}{F_0 \cdot h^2}, \tag{1}$$

где F_0 – коэффициент гомохронности (критерий Фурье);

l – длина блока нагревательных элементов, м;

a – коэффициент температуропроводности, м²/ч;

h – толщина разогреваемого слоя, м.

Численное значение критерия Фурье при постоянном тепловом потоке определяется в зависимости от безразмерной величины β (таблица 1 [6]), которая определяется из выражения

$$\beta = \frac{(t - t_0)}{(t_n - t_0)}, \tag{2}$$

где t – требуемая температура в нижней части нагреваемого слоя, °С;

t_0 – начальная температура асфальтобетона, °С;

t_n – требуемая температура поверхности асфальтобетона, °С.

Таблица 1 – Значения критерия F_0 при постоянном тепловом потоке в зависимости от безразмерной величины β

β	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
F_0	0,27	0,47	0,78	1,2	2	3,6	7	17,2

Коэффициент температуропроводности рассчитывается по формуле в соответствии с [6]



$$a = \frac{3600 \cdot \lambda}{c \cdot \rho}, \quad (3)$$

где λ – коэффициент теплопроводности асфальтобетона, Вт/(м·°С);

c – удельная теплоемкость асфальтобетона, кДж/(кг·°С);

ρ – плотность асфальтобетона, кг/м³.

Ведомой машиной комплекта «Ремиксер» является асфальторазогреватель Виртген НМ-4500, который позволяет осуществить прогрев асфальтобетонного слоя на глубину от 0,02 до 0,06 м при одинаковой рабочей скорости машины путем изменения подачи газа и высоты установки рабочей поверхности нагревательных блоков от поверхности покрытия.

Нагревание поверхности покрытия для комплекта «Ремиксер» осуществляется в 4 ступени (две ступени приходится на асфальторазогреватель НМ-4500 и две – на заключительный разогрев асфальтобетона блоками нагревательных элементов «Ремиксера-4500»)

Согласно рекомендациям производителя средняя температура разогреваемого слоя покрытия, достигаемая в результате работы асфальторазогревателя для $h = 0,02$ м – 150 °С, $h = 0,04$ м – 138 °С, $h = 0,06$ м – 125 °С, благодаря чему после заключительного нагрева разогревателями «Ремиксера» достигается средняя температура асфальтобетонного покрытия 168 °С, 164 °С и 160 °С соответственно. Данная температура позволяет обеспечить хорошие сцепные свойства разогретого основания дорожной одежды с уложенным слоем переработанного асфальтобетона и с уложенным поверх него слоем износа из свежей асфальтобетонной смеси, в результате чего образуется единый монолит [1], что обеспечивает повышение ресурса службы дорожного покрытия в 3 раза [2].

Для обеспечения рациональной температуры асфальтобетонной смеси в таблице 2 представлены значения рабочих скоростей асфальторазогревателя НМ-4500 для асфальтобетонов различного агрегатного состава и плотности в зависимости от температуры поверхности покрытия, заданной толщины прогреваемого слоя и крайних значений диапазона распределения температур по глубине прогрева. Известно, что температура поверхности асфальтобетонного покрытия напрямую зависит от температуры воздуха и в летний период может достигать 60 °С [7].

Для разогрева асфальтобетонных покрытий различных типов рабочая скорость и мощность теплового излучения асфальторазогревателя определяется с учетом индивидуальных теплофизических свойств материала. При равных рабочих скоростях мощность теплового из-

лучения для разных по типу асфальтобетонных покрытий может иметь разные значения, что отражается на удельном расходе сжиженного газа, требуемого для разогрева. Так, для крупнозернистого пористого асфальтобетона в зависимости от начальной температуры покрытия часовой расход газа на 5 %–10 % меньше, чем для мелкозернистого асфальтобетона типа Б при одинаковых рабочих скоростях, полученных в результате расчета. Поэтому важно выбирать режим работы асфальторазогревателя не только с учетом температуры окружающей среды, но и с учетом индивидуальных теплофизических свойств разогреваемого асфальтобетонного покрытия с целью точного определения потребляемого количества газа в соответствии с необходимой мощностью теплового излучения для обеспечения заданной температуры прогрева.

При увеличении температуры внешней среды допускается увеличение рабочей скорости асфальторазогревателя до максимально возможной. Максимальная скорость асфальторазогревателя в данном случае определяется максимальной рабочей скоростью ремиксера $V_{MAX} = 5$ м/мин. Поэтому при достижении расчетной рабочей скорости выше V_{MAX} при увеличении температуры поверхности асфальтобетонного покрытия с 35 °С до 40 °С необходимо снизить подачу газа на 5 % для обеспечения рекомендуемой температуры нагрева на глубину $h = 0,02$ м. При этом наблюдается сокращение требуемой мощности теплового излучения и, как следствие, уменьшение часового расхода газа. Не обоснованное температурными показателями поверхности покрытия увеличение рабочей скорости асфальторазогревателя ведет к недогреву материала, что предполагает снижение качества.

При поддержании неизменной температуры удельный расход сжиженного газа возрастает пропорционально, а рабочая скорость асфальторазогревателя в соответствии с формулой (1) уменьшается пропорционально увеличению толщины слоя нагрева в квадрате (таблица 2).

С изменением температуры покрытия от 5 °С до 40 °С в соответствии с рациональными режимами работы стоимость машино-часа асфальторазогревателя возрастает в 1,5 раза, при этом часовая эксплуатационная производительность увеличивается почти в 6 раз, что способствует снижению приведенной себестоимости механизированных работ в 3,5–4 раза и, как следствие, получению большей прибыли.

Полученные данные говорят о необходимости учета температуры поверхности асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог, агрегатного состава и плотности нагреваемого



Таблица 2 – Зависимость рабочих режимов асфальтопрогревателя НМ-4500 от температуры поверхности дорожного покрытия и толщины слоя нагрева h для температуры нагревания $t = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$

Температура поверхности покрытия, $^{\circ}\text{C}$	Толщина слоя нагрева h , м		
	0,02	0,04	0,06
	Рабочая скорость перемещения, м/мин		
5	0,9–1,0	0,23–0,25	0,1–0,11
10	1,0–1,1	0,25–0,28	0,11–0,13
15	1,1–1,3	0,28–0,33	0,13–0,15
20	1,5–1,7	0,38–0,43	0,16–0,18
25	1,8–2,0	0,45–0,5	0,2–0,22
30	2,3–2,8	0,57–0,7	0,25–0,3
35	4,6–5	1,15–1,3	0,51–0,58
40	5	1,65–1,9	0,75–0,84

материала при назначении рабочих режимов асфальтопрогревателя с целью обеспечения оптимальной мощности теплового излучения и соответствующего ей расхода сжиженного газа для достижения требуемой температуры прогрева асфальтобетонного покрытия.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ДАЛЬНОСТИ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

Устройство покрытия из горячих асфальтобетонных смесей с увеличением дальности транспортирования требует повышения темпе-

ратуры материала на выходе из АБЗ или размещения мобильных асфальтобетонных установок ближе к месту укладки асфальтобетонной смеси, что ведет к увеличению энергозатрат и дополнительным издержкам на подготовку производства.

Согласно принятым нормативам времени охлаждения асфальтобетонной смеси [8–10] и скорости перемещения транспортных средств по дорогам I–III групп [11] была построена номограмма определения предельной дальности транспортирования асфальтобетонной смеси в соответствии с температурой окружающей среды и группой дороги, по которой осуществляется транспортирование (рис. 2).

Например, при температуре окружающей среды $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ время транспортирования горячей асфальтобетонной смеси не должно превышать 1 час, что соответствует расстоянию транспортировки 50 км при движении по дорогам I группы, 37 км – по дорогам II группы, 28 км – по дорогам III группы.

Время охлаждения асфальтобетонной смеси при выполнении транспортных операций можно более точно определить, решив уравнение теплопроводности в пространственном случае [5]. В этом случае учитываются индивидуальные физико-механические и теплофизические свойства асфальтобетонной смеси.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение комплекта «Ремиксер» для горячей регенерации асфальтобетонного покрытия позволит сократить объемы недоремонта и приведет к снижению затрат на обеспечение работоспособности автомобильных дорог.

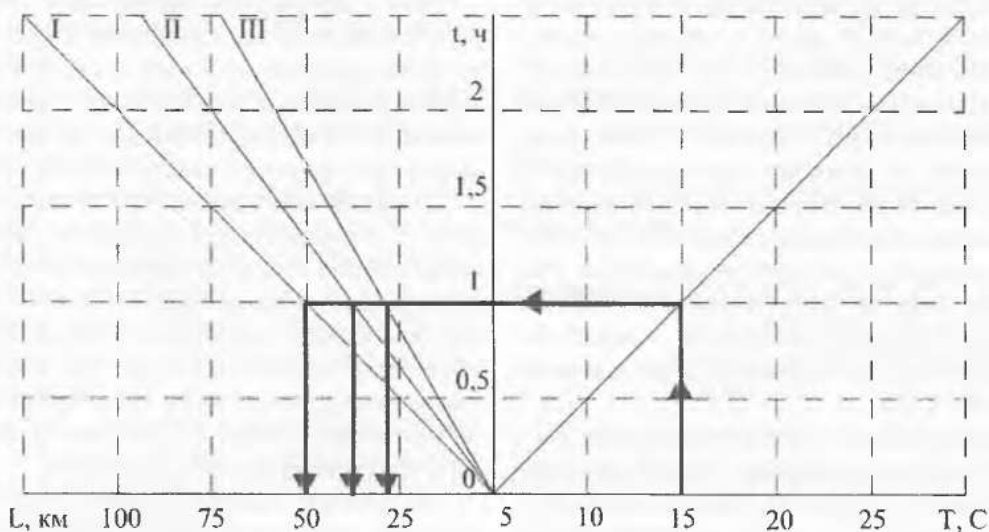


Рисунок 2 – Номограмма определения предельной дальности транспортирования асфальтобетонной смеси в зависимости от температуры окружающей среды



Обеспечение заданного качества дорожного покрытия и экономии расхода энергоресурсов регламентируется рациональной скоростью перемещения комплекта «Ремиксер» (таблица 2) в зависимости от температуры окружающей среды.

Для определения предельной дальности транспортирования асфальтобетонной смеси в зависимости от температуры окружающей среды и дорожных условий можно использовать предложенную номограмму. □

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев, А. П. Эксплуатация автомобильных дорог : учебник для вузов в 2 т. / А. П. Васильев. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – Т. 2. – 320 с.
2. Говоров, А. Ю. Технология двухслойной укладки асфальтобетона за один проход / А. Ю. Говоров // Строительные и дорожные машины. – 2008. – № 6. – С. 20–24.
3. Максименко, А. Н. Эксплуатация строительных и дорожных машин : учеб. пособие. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 400 с. : ил.
4. Максименко, А. Н. Оценка эффективности использования строительных и дорожных машин : монография / А. Н. Максименко. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2012. – 213 с. : ил.
5. Зубков, А. Ф. Технология строительства асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог / А. Ф. Зубков, В. Г. Однолько. – М. : Машиностроение, 2009. – 224 с. : ил.
6. Желудкевич, Р. Б. Машины и агрегаты для содержания аэродромов : учеб. пособие / Р. Б. Желудкевич, В. Н. Подвезенный. – Красногорск : ИПЦ КГТУ, 2003. – 294 с. : ил.
7. Киялбай, С. Н. Анализ изменения температуры покрытия автомобильной дороги в зависимости от температуры воздуха [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.rusnauka.com/36_PVMN_2012/Stroitelstvo/3_123924.doc.htm.
8. Мелик-Багдасов, М. С. Строительство и ремонт дорожных асфальтобетонных покрытий : учеб. пособие / М. С. Мелик-Багдасов, К. А. Гюев, Н. А. Мелик-Багдасов. – Белгород : Константа, 2007. – 157 с. : ил.
9. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичный : ГОСТ 31015-02. – М. : Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартам, техническому нормированию и сертификации в строительстве: Госстрой России, 2003. – 13 с.
10. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Технические условия : СТБ 1033-2004. – Минск : БелдорНИИ, 2004. – 26 с.
11. Волкова, С. М. Расчетные нормы пробега грузовых автомобилей при расчете норм на один тонно-километр / С. М. Волкова // Главный бухгалтер. – 2003. – № 2. – С. 39.

Статья поступила в редакцию 12.07.13.

