

УДК 625.8

*Д. Ю. Макацария, Е. Г. Дегтярева*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ КОМПЛЕКТОВ МАШИН ДЛЯ РЕМОНТА ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

UDC 625.8

*D. Y. Makatsariya, E. G. Degtyareva*

## DETERMINATION OF OPTIMAL SETS OF MACHINES FOR HIGHWAY PAVEMENT REPAIR

### **Аннотация**

В статье рассматривается текущее состояние автомобильных дорог Республики Беларусь. Предлагаются современные технологии и комплекты машин, предназначенные для ремонта дорожного покрытия. Приводится сравнительный анализ, направленный на определение границ областей применения комплектов машин, по результатам которого находятся рациональные области их использования для проведения ремонта участка автомобильной дороги Р-71 Могилев–Славгород.

### **Ключевые слова:**

ремонт, автомобильная дорога, регенерация, дефект, комплект машин.

### **Abstract**

This article considers the current state of motor roads in Belarus. Modern technologies and sets of machines for road pavement repairs are given. The comparative analysis for determining the boundary conditions of using the sets of machines is presented, the results of which allow finding efficient areas of their usage in repairing the section of P-71 Mogilev–Slavgorod highway.

### **Key words:**

repair, highway, regeneration, defect, set of machines, road building.

Автомобильные дороги являются национальным достоянием каждого государства. В Республике Беларусь, которая расположена в центре Европы, они занимают особое место, т. к. дороги связывают запад с востоком, а север – с югом. Построить хорошую автодорогу невозможно без применения технологий, отвечающих современным требованиям, и правильной организации дорожно-строительных работ. Долгосрочная эксплуатация автомобильных дорог является необходимым условием общей эффективности дорожного строительства.

К сожалению, многие белорусские дороги нуждаются в ремонте. Однако применяемые технологии ремонта покрытий не всегда отвечают требованиям

эффективности и экономичности. Как следствие, увеличивается количество участков автомобильных дорог, на которых превышены межремонтные сроки, а их эксплуатация все равно продолжается, при этом возникают так называемые недоремонты [1]. Кроме того, стоимость дорожно-строительных и ремонтных материалов постоянно растет. В связи с этим нужно применять современные экономически выгодные технологии ремонта асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог.

С течением времени под воздействием погодных факторов, транспортных нагрузок происходит развитие разрушений покрытия – появление сдвигов и волн, выбоин, проломов, сеток трещин,

выкрашивания, колейности. В процессе эксплуатации автомобильных дорог на их поверхности возникают дефекты, влияющие на безопасность дорожного движения [2]. Для устранения каждого

типа дефектов необходимо правильно выбирать технологию ремонта покрытия и комплект машин. Основные типы дефектов представлены на рис. 1.

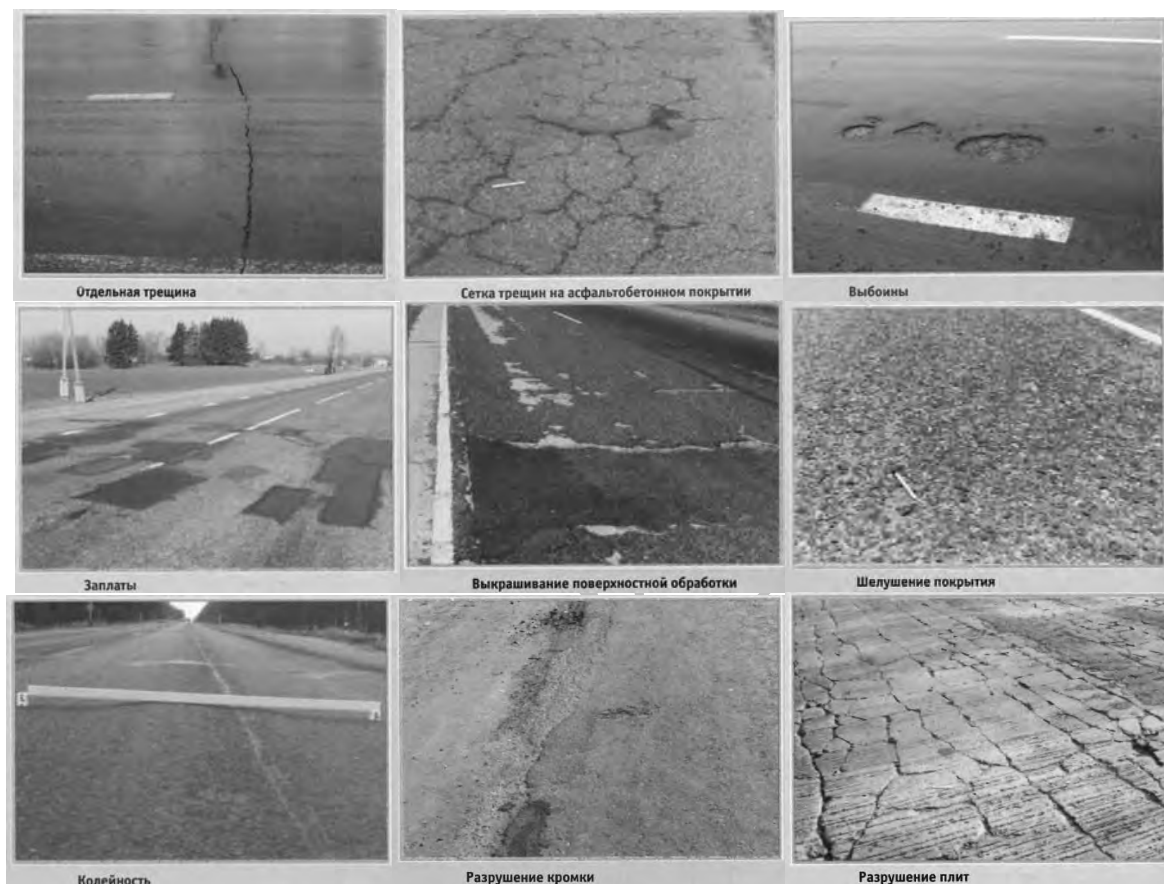


Рис. 1. Основные типы дефектов

В настоящее время существуют различные комплекты машин, позволяющие устранять данные дефекты и устраивать новое дорожное покрытие, причем используется как существующий материал, так и новые дорожно-строительные и ремонтные материалы. Традиционно для выполнения данных работ применяют технологию и комплект машин, предназначенный для строительства дорожного покрытия. Машины, используемые в данном комплекте, имеются во многих организациях дорожной отрасли. В качестве ведущей машины комплекта выступает ас-

фальтоукладчик, который укладывает сначала выравнивающий слой, а затем новое дорожное покрытие. Выравнивающий слой предназначен для устранения дефектов существующего покрытия и подготовки основы для последующих слоев. При этом традиционные асфальтоукладчики вынуждены выполнять несколько проходов для укладки различных слоев дорожной одежды, что увеличивает продолжительность выполнения работ. Только новые асфальтоукладчики, работающие по технологии «горячий на горячий», позволяют выполнять все операции за один рабо-

чий проход [4].

Кроме традиционных технологий, в нашей стране начинают применять и технологии регенерации, включающие операции фрезерования – снятия асфальтобетона существующего дорожного покрытия. При этом проблема утилизации старого асфальтобетона в Республике Беларусь стоит достаточно остро. Объем старого асфальтобетона, подлежащего захоронению в крупных городах, составляет от 15000 до 20000 т ежегодно, что равносильно вывозу на свалку стройматериалов на сумму до 500 млн р. в год. Опыт утилизации старого асфальтобетона в промышленно развитых странах показывает, что применение асфальтогранулята, полученного в дробильных установках, при изготовлении, например, новых асфальтобетонных смесей дает существенный экономический эффект. Так, по данным Союза изготовителей асфальтобетона Германии, применено из 15 млн т асфальтогранулята 12 млн т, т. е. 80 %, можно использовать для изготовления нового асфальтобетона. При этом производство новой асфальтобетонной смеси несколько снизилось.

В процессе производственной эксплуатации СДМ выполняют заданные объемы работ на конкретном объекте. В зависимости от заданного вида работ, материалов и качества получаемого продукта необходимо выбирать соответствующий технологический процесс. В настоящее время существует множество различных технологий при строительстве и ремонте автомобильных дорог. Среди них необходимо выделять энергосберегающие и материалосберегающие технологии. Эти технологии уже апробированы и хорошо зарекомендовали себя в странах Западной Европы и США.

Оптимизация состава новой асфальтобетонной смеси при регенерации асфальтобетона в США осуществляется двумя различными методами восстановления дорожного асфальтобетонного покрытия с использованием материала

ремонтируемого покрытия: с повторным использованием материалов покрытия в стационарной смесительной установке (Recycling in plant) и с повторным использованием покрытия непосредственно на месте (Recycling in place).

Выбор того или иного метода связан с качеством старого материала и экономической целесообразностью. Первый метод применяется при неудовлетворительном качестве материала асфальтобетонного покрытия для использования его на месте и необходимости удаления большого количества материала вследствие значительных разрушений покрытия большой толщины. Такой метод относительно независим от погодных условий. Основной операцией метода является фрезерование с целью удаления дефектного слоя покрытия. Этот процесс имеет ряд недостатков: потери материала или нарушение стабильности в слое износа и выравниваемом слое, а также нарушение геометрии покрытия. При этом производится оздоровительный ремонт по устранению колеяности, клиновое фрезерование для обеспечения водоудаления, профильное фрезерование для коррекции поперечных уклонов или вмятин в слое износа.

Фрезерование может осуществляться как с предварительным разогревом поверхности (горячее фрезерование), так и без него (холодное фрезерование). При нагреве поверхности дорожного покрытия достигается снижение когезионных и адгезионных сил сцепления в асфальтобетонном покрытии и создаются благоприятные условия для процесса фрезерования. При горячем фрезеровании происходят ограниченные изменения параметров смеси по сравнению с ее первоначальным состоянием.

Холодное фрезерование осуществляется путем механического воздействия без нагрева поверхности дорожного покрытия. Вызываемые при этом спосо-

бе изменения смеси ограничиваются в основном раздроблением зерна и, таким образом, изменением гранулометрического состава.

Метод ремонта с повторным использованием материалов покрытия непосредственно на дороге (второй метод) исключает необходимость транспортировки смеси к месту ее переработки и обратно, ее складирование и содержание и создает минимальное ограничение при движении транспорта по ремонтному участку. При этом методе материал ремонтируемого покрытия используется полностью.

Метод ремонта асфальтобетона на дороге холодным способом заключается в холодном фрезеровании дефектного слоя покрытия; загрузке удаленного материала в передвижной смеситель, обеспечивающий добавку необходимых компонентов; в разогреве и перемешивании загруженных материалов; в выгрузке готового материала в приемный бункер асфальтоукладчика и укладке им нового слоя из регенерированной асфальтобетонной смеси.

В процессе производства работ перед эксплуатирующей организацией возникает проблема, связанная с необходимостью выбора рационального комплекта машин [3] в зависимости от условий эксплуатации строительных и дорожных машин (СДМ), наработки машины с начала эксплуатации, способа проведения работ на объекте и т. д.

Определяя необходимые комплекты машин, придерживаются увеличения производительности СДМ, снижения стоимости выполняемых работ, возможности повторного использования и экономии материалов. Рассматривая данные вопросы в комплексе, можно определить условия применения комплектов машин [4].

Для осуществления регенерации на заводе в комплект машин необходимо включить дорожную фрезу. Ведущей машиной данного комплекта является асфальтоукладчик, а уплотнение осуще-

ствляется традиционным способом с использованием катков. При этом для транспортировки сфрезерованного материала на АБЗ необходимо использовать дополнительный автотранспорт при снижении количества транспорта, оборудованного тентами для доставки асфальтобетонной смеси к месту проведения работ.

Условия применения комплектов определяются равенством удельных приведенных затрат при их использовании по назначению. Минимальное значение этих затрат является определяющим фактором использования комплекта на участке. С учетом выполнения объема работ по всем участкам определяется загрузка комплекта в сезоне.

Для рационального формирования комплектов машин необходима информация о количестве участков, на которых запланированы работы по восстановлению работоспособности дороги, о стоимости тонны приготовленной асфальтобетонной смеси и толщине слоя ее укладки. Данная информация используется применительно ко всем участкам. Следующим этапом является выбор машин и формирование комплектов, предназначенных для восстановления работоспособности автомобильных дорог различными способами.

По каждому комплекту определяется объем производимых работ, время работы комплекта на участке и количество расходуемого материала и энерго-ресурсов. Каждый из сформированных комплектов будет использовать различное количество материалов и энергетических ресурсов для ремонта автомобильной дороги, которые влияют на стоимость восстановительных работ. Вся полученная информация сохраняется и используется для расчета количества сэкономленных ресурсов при восстановлении работоспособности данного участка. На основе информации о работе всех комплектов по всем участкам формируются рекомендации по их использованию, а также определяются

степень загрузки за сезон и стоимость использования рационального комплекта в сезоне.

Реализация методики определения потребного количества асфальтобетонной смеси и формирование комплектов машин для восстановления работоспособности автомобильных дорог предусматривает определение экономии материалов и энергоресурсов, а также суммарной стоимости выполнения работ при эксплуатации рационального комплекта на протяжении рассматриваемого временного интервала.

Методика определения рациональной области использования комплектов машин должна отражать затраты на проведение механизированных работ и затраты на материал, приведенные к единице полезно выполняемой работы [4, 5].

$$\frac{\sum_{j=1}^{T_1} \sum_{i=1}^{N_1} C_{ji} + \sum_{c=1}^{D_1} C_c}{V_1} = \frac{\sum_{j=1}^{T_2} \sum_{i=1}^{N_2} C_{ji} + \sum_{c=1}^{D_2} C_c}{V_2}, \quad (1)$$

где  $C_{ji}$  – затраты, связанные с использованием  $i$ -й машины  $j$ -го типа, р.;  $C_c$  – затраты на материал  $c$ -го типа, р.;  $V_1, V_2$  – объемы работ, выполняемые каждым из сравниваемых комплектов машин, единица работы;  $T_1, T_2$  – количество типов машин, входящих в каждый из комплектов;  $N_1, N_2$  – количество машин одного типа в каждом из комплектов;  $D_1, D_2$  – количество типов материалов, используемых каждым из комплектов машин.

Возможность применения различных комплектов машин рассматривалась на участке автомобильной дороги Р-71 Могилев–Славгород 11,55...17,20 км. Данная дорога находится в Могилевском районе Могилевской области, проходит по г. Могилеву, д. Зимница, а также землям УКАП «Фирма Вейно», Могилевского лесхоза. Здесь предусмотрен капитальный ремонт дорожного покрытия, который можно осуществлять различными комплектами машин.

Район проведения капитального ремонта входит в I дорожно-климатический район Республики Беларусь. Автомобильная дорога республиканского назначения относится к III категории.

На данном участке наблюдаются выбоины, заплаты, залитые и незалитые трещины, разрушение кромок покрытия, колея, выпотевание битума, выкрашивание, шелушение. Для эффективного устранения таких дефектов необходимо использовать современные технологии ремонта, основанные на регенерации дорожного покрытия. Эти технологии позволяют повторно использовать материал старого покрытия дороги. Применяемая при этом техника является многофункциональной, что позволяет быстро и качественно произвести работы по ремонту дорожного покрытия.

Для проведения ремонтных работ использовались следующие машины: дорожные фрезы Wirtgen W2000 – для снятия существующего дорожного покрытия, автосамосвалы МА3-5516 – для транспортировки дорожно-строительных и ремонтных материалов, асфальтоукладчик Титан-423 – для укладки асфальтобетонной смеси, катки ДУ-47 и ДУ-98 – для уплотнения дорожного покрытия.

В соответствии с технологиями производства ремонтных работ можно сформировать несколько различных комплектов машин. Комплект машин для реализации традиционной технологии (традиционный комплект) будет включать ведущую машину-асфальтоукладчик Титан-423 и комплектующую технику – автосамосвалы МА3-5516 и катки ДУ-47 и ДУ-98. Комплект машин для реализации технологии регенерации (комплект для регенерации) будет включать ведущую машину – асфальтоукладчик Титан-423 и комплектующую технику – дорожные фрезы Wirtgen W2000, автосамосвалы МА3-5516 и катки ДУ-47 и ДУ-98.

Включение в комплект для реге-

нерации дорожных фрез приведет к изменению стоимости комплекта машин и общей стоимости выполняемых работ. При этом необходимо учитывать увеличение эксплуатационных затрат, с одной стороны, и стоимость сэкономленных дорожно-строительных и ремонтных материалов – с другой. Для организации производства работ уже на начальном этапе важно принять обоснованное решение по использованию оптимального комплекта машин.

Воспользуемся приведенной выше методикой для определения рациональных областей использования сравниваемых комплектов машин. Рациональные области использования традиционного комплекта машин и комплекта машин для регенерации можно определить из выражения

$$\frac{C_{ук} + C_T^{тт} + C_{уп} + C_M^{тт}}{V^{тт}} = \frac{C_{ф} + C_T^{рнз} + C_{ук} + C_{уп} + C_M^{рнз}}{V^{рнз}}, \quad (2)$$

где  $C_{ук}$  – затраты на укладку асфальтобетонной смеси, р.;  $C_{ф}$  – затраты на фрезерование, р.;  $C_T^{тт}$ ,  $C_T^{рнз}$  – затраты на транспортировку при традиционной технологии и регенерации на заводе, р.;  $C_{уп}$  – затраты на уплотнение, р.;  $C_M^{тт}$ ,  $C_M^{рнз}$  – затраты на материалы при традиционной технологии и регенерации на заводе, р.;  $V^{тт}$ ,  $V^{рнз}$  – объемы работ, выполняемые при традиционной технологии и регенерации на заводе, т.

Особое внимание при формировании комплектов машин необходимо уделить количеству используемых дорожных фрез, которое учитывается при определении затрат на фрезерование:

$$C_{ф} = \frac{C_{мч}^{\phi}}{П_{ф}} \cdot V_{ф} \cdot N_{ф}, \quad (3)$$

где  $C_{мч}^{\phi}$  – себестоимость машиночаса дорожной фрезы, р./маш.-ч;  $П_{ф}$  – произ-

водительность дорожной фрезы, м<sup>3</sup>/маш.-ч;  $V_{ф}$  – объем работ, выполняемый фрезой, м<sup>3</sup>;  $N_{ф}$  – количество фрез.

Количество фрез в комплекте будет определяться с учетом производительности асфальтоукладчика и ограничиваться ее максимальным значением. При этом сформированный комплект машин может включать от 1 до 3 дорожных фрез. Аналогичным образом определяются все оставшиеся виды затрат.

При определении оптимального комплекта машин для ремонта участка автомобильной дороги Могилев–Славгород рассчитаны величины объемов и затрат на выполнение всех видов работ, а также затраты на материалы и их транспортировку. Однако в условиях постоянного изменения стоимости дорожно-строительных и ремонтных материалов, а также затрат на использование современных машин и оборудования достаточно сложно оценить складывающуюся обстановку и увидеть перспективу. Возникает необходимость графического представления полученных результатов, которое можно получить, используя методику (2). Возьмем в качестве переменной части затраты на фрезерование, которые зависят от себестоимости машиночаса дорожной фрезы  $C_{мч}^{\phi}$  и количества фрез  $N_{ф}$ , а в качестве искомого результатов – затраты на материалы, которые будут находиться в зависимости от стоимости тонны асфальтобетонной смеси  $C_{абс}$ . Для проведения расчетов рассмотрим диапазон изменения себестоимости машиночаса дорожной фрезы от 100 тыс. до 1100 тыс. р. при условии использования до трех фрез в комплекте. Таким образом, получим границы рациональных областей использования традиционного комплекта и комплекта для регенерации по изменению стоимости асфальтобетонной смеси (табл. 1). Все расчеты произведены в ценах 2010 г.

Табл. 1. Границы рациональных областей использования комплектов машин

Количество фрез	Себестоимость машиночаса фрезы, тыс. р.					
	100	300	500	700	900	1100
	Стоимость тонны асфальтобетонной смеси, р.					
1	15332	27751	40169	52588	65006	77425
2	21541	46378	71216	96053	120890	145727
3	27751	65006	102262	139518	176773	214029

Если по оси абсцисс отложить себестоимость машиночаса дорожной фрезы  $C_{мч}$ , по оси ординат – стоимость асфальтобетонной смеси  $C_{абс}$ , а линиями обозначить рассматриваемое количество

фрез в комплекте, то можно графически отразить рациональные области использования сравниваемых комплектов машин (рис. 2).

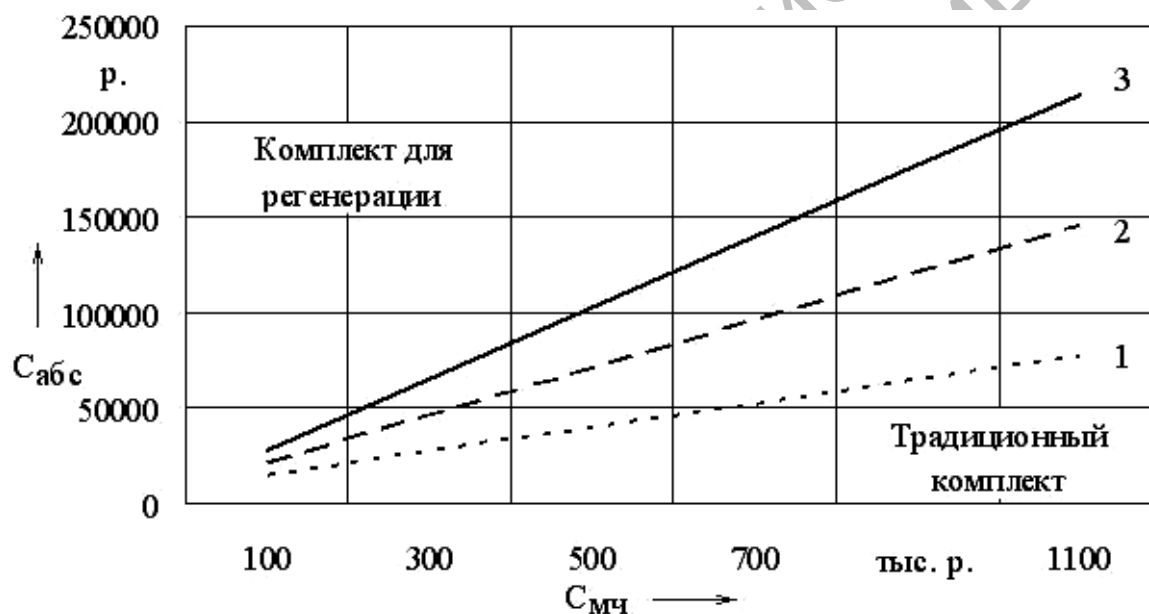


Рис. 2. Рациональные области использования комплектов машин: 1...3 – количество фрез в комплекте

Линии границ разделяют пространство на области. Так, область, которая ограничивается сверху линиями границ, является рациональной для использования традиционного комплекта машин, а область, которая ограничивается снизу линиями границ, – рациональной для применения комплекта для регенерации. Это связано с тем, что при использовании комплектов машин для регенерации повторно используются и экономятся дорожно-строительные и

ремонтные материалы, а при использовании традиционного комплекта этого не происходит. Области, которые ограничиваются и сверху, и снизу линиями границ, будут рациональными для комплекта для регенерации только в том случае, если количество фрез, используемое в нем, не превышает значения, обозначенного на нижней границе, в противном случае данные области будут являться рациональными для традиционного комплекта.

Анализируя рациональные области использования сравниваемых комплектов машин, можно сделать вывод, что если себестоимость машиночаса дорожной фрезы не превышает 800 тыс. р., а стоимость тонны асфальтобетонной смеси более 150 тыс. р., то оптимальным для проведения ремонтных работ на участке автомобильной дороги Могилев–Славгород будет являться комплект для регенерации с использованием двух дорожных фрез Wirtgen W2000.

Для определения перспектив использования данного комплекта необходимо проанализировать динамику

рассматриваемых параметров. Из рисунка видно, что с ростом стоимости дорожно-строительных и ремонтных материалов расширяется рациональная область использования комплекта для регенерации, а при увеличении затрат на фрезерование расширяется рациональная область использования традиционного комплекта. При этом, если темпы роста стоимости асфальтобетонной смеси будут превышать темпы роста себестоимости машиночаса дорожной фрезы, комплект для регенерации будет оставаться оптимальным и в рассматриваемой перспективе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Максименко, А. Н.** Эксплуатация строительных и дорожных машин : учеб. пособие / А. Н. Максименко. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 400 с.
2. **Леонович, И. И.** Диагностика автомобильных дорог : учеб. пособие / И. И. Леонович, С. В. Богданович, И. В. Нестерович. – Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2011. – 350 с.
3. **Кудрявцев, Е. М.** Комплексная механизация строительства / Е. М. Кудрявцев. – М. : Ассоциация строительных вузов, 2005. – 424 с.
4. **Максименко, А. Н.** Обоснование выбора комплекта машин для внедрения новых технологий при строительстве и ремонте асфальтобетонного покрытия / А. Н. Максименко, Е. А. Косенко, Д. Ю. Макацария // Строительная наука и техника. – 2011. – № 6 (39). – С. 70–74.
5. Определение граничных условий использования комплектов машин при восстановлении работоспособности асфальтобетонных покрытий / А. Н. Максименко [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2008. – № 2. – С. 16–25.

#### LIST OF LITERATURE

1. **Maksimenko, A. N.** Running of construction and road-building machinery : tutorial / A. N. Maksimenko – SPb. : BXV-Petersburg, 2006. – 400 p.
2. **Leonovich, I. I.** Diagnostics of highways : tutorial / I. I. Leonovich, S. V. Bogdanovich, I. V. Nesterovich. – Minsk : Novoe znanie; M. : INFRA-M, 2011. – 350 p.
3. **Kudryavtsev, E. M.** Complex mechanization of construction industry / E. M. Kudryavtsev. – M. : Construction HEIs Association Press, 2005. – 424 p.
4. **Maksimenko, A. N.** Justification of machine set selection for introducing new technologies in construction and repair of asphalt-concrete pavement / A. N. Maksimenko, E. A. Kosenko, D. Y. Makatsariya // Construction science and engineering. – 2011. – № 6 (39). – P. 70–74.
5. Determination of boundary conditions of application of machinery sets in restoring the operating capacity of asphalt-concrete pavements / A. N. Maksimenko [etc.] // Herald of Belarus.-Rus. Un-ty. – 2008. – № 2. – P. 16–25.

*Статья сдана в редакцию 12 января 2012 года*

**Денис Юрьевич Макацария**, канд. техн. наук, Могилевский высший колледж МВД Республики Беларусь. Тел.: +375-297-40-85-72. E-mail: dexteru@mail.ru.

**Елена Геннадьевна Дегтярева**, студентка, Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-297-60-35-12.

**Denis Yuryevich Makatsariya**, PhD, Mogilev Higher College of MVD of the Republic of Belarus. Tel.: +375-297-40-85-72. E-mail: dexteru@mail.ru.

**Elena Gennadyevna Degtyareva**, undergraduate, Belarusian-Russian University. Tel.: +375-297-60-35-12.