

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИДОВ ПОКРЫТИЙ

А.В. Скрыпников<sup>1</sup>, В.Г. Козлов<sup>2</sup>, Д.В. Ломакин<sup>3</sup>, Е.Ю. Микова<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

<sup>3</sup> ФГКОУ ВО «Воронежский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации»

<sup>4</sup> Сыктывкарский лесной институт (филиал) ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»

skrypnikovvsafe@mail.ru

Разработана и проанализована экономико-математическая модель определения областей использования видов покрытий, логистическая структура которой учитывает взаимоотношение следующих элементов процесса: лесовозной дороги; транспортных средств; складов горюче-смазочных материалов; ремонтно-газонального хозяйства. Объектом исследования являлась подсистема дорога — автомобиль. Метод изучения — имитационное и компьютерное моделирование областей использования видов покрытий, позволяющее провести сравнительное исследование гравийного, железобетонного, черногравийного и асфальтобетонного покрытий автомобильных дорог. Разработана экономико-математическая модель определения областей использования видов покрытий, логистическая структура которой учитывает все взаимоотношения элементов процесса. Предусмотрен поиск области применения неравнопрочной проезжей части дороги для черногравийного и асфальтобетонного покрытий. В связи с ростом осевых нагрузок автотранспортных средств расширяется область применения дорожных покрытий жесткого типа — колеиных и железобетонных, следовательно, увеличивается расстояние подвозки песка, а это сокращает область применения покрытий жесткого типа. Выявлено расширение области применения асфальтобетонных покрытий вследствие увеличения расчетного срока службы дороги, что объясняется уменьшением амортизационных отчислений, в том числе на реновацию, а также повышением удельного веса эксплуатационных показателей автопоездов, включая увеличение их пробега до списания. С помощью разработанной экономико-математической модели могут быть установлены области безусловного применения и буферные области, где граничащие виды покрытий взаимозаменяемы по технико-экономическим показателям.

**Ключевые слова:** лесовозная дорога, автопоезд, осевая нагрузка, дорожное покрытие, экономико-математическая модель, приведенные затраты

**Ссылка для цитирования:** Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Ломакин Д.В., Микова Е.Ю. Применение экономико-математических методов для определения областей использования видов покрытий // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 5. С. 23–32.

DOI: 10.18698/2542-1468-2017-5-23-32

Знание областей применения типов и видов покрытий лесовозных автомобильных дорог круглогодичного и летнего действия в зависимости от факторов, влияющих на их прочностные характеристики, имеет важное значение для проектировщиков, так как исключает многовариантность проработок, сокращает время на их выбор и расчет [1, 2].

Действующие и разрабатываемые в настоящее время нормативные документы по проектированию дорог содержат лишь общие рекомендации по применению типов и видов дорожных покрытий, привязанных в основном к категориям дорог с широким диапазоном показателей интенсивности движения или грузооборота без указания других факторов, которые также оказывают значительное влияние на выбор вида дорожного покрытия. Помимо грузооборота (интенсивности движения), на экономическую целесообразность применения типов и видов покрытий влияют следующие факторы: категория местности (грун-

тово-гидрологические и рельефные условия); состав движения транспортных средств (типы автопоездов, осевые нагрузки); наличие или дальность подвозки основных дорожно-строительных материалов; срок службы дороги [3].

Цель работы — учет вышеперечисленных факторов, отражающих наиболее часто встречающиеся конкретные условия проектирования дорог (таблица). Для решения поставленной задачи была создана экономико-математическая модель.

### Информационная база модели

Информационной базой для разработки модели послужили: обоснование эксплуатационных показателей транспортных средств; разработка математических моделей тягача, полуприцепа и прицепа; обоснование стоимости строительства, ремонта и содержания дорог; обоснование затрат на непроезжую сферу.

За целевую функцию принята разность приведенных затрат в виде

Т а б л и ц а

**Подлежащие учету условия проектирования автомобильных дорог**  
**Conditions for motorway engineering to be considered**

Фактор	Обозначение	Область исследований (диапазон значений фактора)
Категория местности		1, 2, 3
Осевая нагрузка, тс		Группа Б: 5,5–6
		Группа А: 7,5–10
		а также 11; 12; 12,75
Объем производства лесообрабатывающих предприятий, тыс. м <sup>3</sup>	<i>A</i>	50–1500
Грузообороты дорог, тыс. м <sup>3</sup>	<i>Q</i>	50–1500
Расстояние подвозки гравия, км	<i>L</i>	1–150
Расстояние подвозки песка, км	<i>LP</i>	1–50
Срок службы дороги, лет	<i>ТД</i>	3–50
Территориальный район с набором коэффициентов удорожания	—	Три характерных района с малыми, средними и большими значениями коэффициентов удорожания
Мощность двигателя, л.с.	<i>N</i>	210–500
Габаритная ширина, м	<i>GH</i>	2,5–4
Количество прицепных составов, шт	—	1

$$\Delta(C + EK)_{\xi G \eta_i \eta_j} = \frac{E \left( 1 + \frac{1}{ТД + E} \right)}{Q} \left[ КД(\eta_i, \bar{M}_\xi, G, ТД, \bar{K}\bar{R}, GA, L, LP, Q, \bar{P}) \right] - \left[ КД(\eta_j, \bar{M}_\xi, G, ТД, \bar{K}\bar{R}, GA, L, LP, Q, \bar{P}) \right] + \frac{C_{\eta_i}(\bar{K}\bar{R}, Q, GA, G_1, G_2)}{Q} - \frac{C_{\eta_j}(\bar{K}\bar{R}, Q, GA, G_1, G_2)}{Q} + \frac{2(1 + J_1)CG}{G_1} \times \left[ \frac{1}{LG(\eta_i)} - \frac{1}{LG(\eta_j)} \right] + \frac{\sum_{n=1}^3 C_n(\eta_i, G, \bar{T}\bar{B}, K_1) - \sum_{n=1}^3 C_n(\eta_j, G, \bar{T}\bar{B}, K_1)}{G_1} \frac{CZ}{G_1} \times \left[ \frac{1}{V_1(\eta_i, \xi, G)} + \frac{1}{V_2(\eta_i, \xi, G)} - \frac{1}{V_1(\eta_j, \xi, G)} - \frac{1}{V_2(\eta_j, \xi, G)} \right] + \frac{2E(KG)(TG)}{G_1} \left[ \frac{1}{LG(\eta_i)} - \frac{1}{LG(\eta_j)} \right] + \Delta\Phi, \tag{1}$$

где *E* — нормативный коэффициент экономической эффективности;

$\eta_i, \eta_j$  — индекс вида покрытия;

КД — стоимость строительства одного километра дороги;

$\bar{M}_\xi$  — вектор коэффициентов, зависящих от категории местности;

$\bar{K}\bar{R}$  — вектор районных коэффициентов удорожания;

$\bar{P}$  — вектор поправочных коэффициентов при неравнопрочных покрытиях;

$C_{\eta_i}, C_{\eta_j}$  — годовые затраты на ремонт и содержание дорог;

$G_1$  — грузоподъемность автопоезда;

$G_2$  — снаряженная масса автопоезда;

$J_1$  — доля затрат на капитальный ремонт от цены автопоезда;

$CG$  — цена рассматриваемого автопоезда с осевой нагрузкой  $G$ ;

$LG(L)$  — массив амортизационных пробегов по типам покрытий для рассматриваемого автопоезда;

$\sum_{n=1}^3 C_n$  — суммарные затраты на техническое

обслуживание и текущий ремонт, горюче-смазочные материалы и шины, отнесенные к одному километру пробега в двух направлениях;

$\bar{T}\bar{B}$  — вектор значений районно-климатических факторов;

$K_1$  — вектор коэффициентов, зависящих от вида покрытия, типа подвижного состава и размеров предприятия;

$CZ$  — часовая заработная плата водителя с учетом всех надбавок;

$TG$  — срок службы транспортного средства;

$\Delta\Phi$  — изменение приведенных затрат по складам горюче-смазочных материалов (ГСМ) на 1 м<sup>3</sup>/км.

**Результаты и обсуждение**

Результаты анализа позволяют решить три основные задачи:

– выявить и определить уровень значимости параметров процесса, а также степень их влияния на устойчивость границ областей применения видов покрытий;

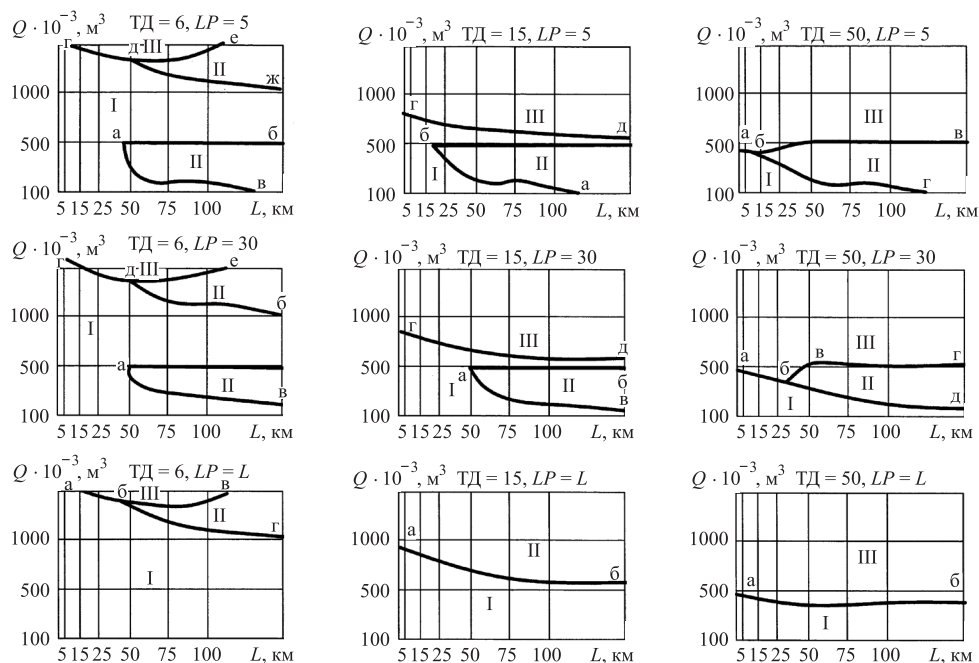
– получить качественную информацию, позволяющую уменьшить размерность моделей при определении оптимальных технологических процессов;

– определить области применения рассмотренных видов покрытий для последующего использования при проектировании лесовозных автомобильных дорог [4].

В связи с отсутствием достаточного количества строительных материалов в ряде основных лесозаготовительных районов расстояние их подвозки варьировалось до от 5 до 150 км. Существование разветвленной сети дорог с различным сроком службы, а также собирательный характер грузопотоков потребовали анализа срока службы дороги в широких пределах. Необходимость оценки общего объема производства на лесоперерабатывающем предприятии вызвана учетом затрат на ремонтно-гаражное хозяйство и склады ГСМ. На основании из опыта применения гравийной и песчаной подушки и экспертных оценок специалистов [2] для железобетонных покрытий принято при  $Q > 500$  тыс. м<sup>3</sup> гравийная подушка, при  $Q \leq 500$  тыс. м<sup>3</sup> — песчаная. Объем производства составляет 150...1500 тыс. м<sup>3</sup> [5].

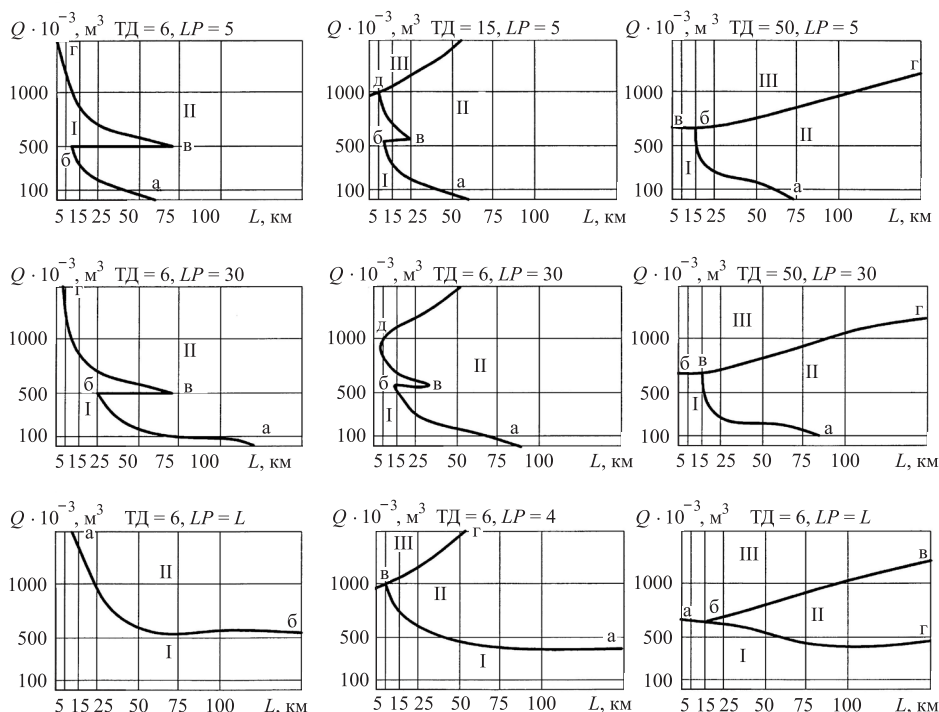
Установлено, что для массового анализа наибольшего объема производства границы применения видов покрытий достаточно устойчивы (сдвиг в пределах 25 тыс. м<sup>3</sup> по грузообороту) [1]. Чтобы определить степень влияния территориального района, характеризуемого набором коэффициентов удорожания, с помощью разработанной модели проведено исследование для трех типичных районов с малыми, средними и большими значениями коэффициентов удорожания. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что при решении поставленной задачи влияние территориального района незначительно и им можно пренебречь. Оценка влияния категории местности показала, что при второй и третьей категории местности результаты сопоставимы [6]. Отмечены отклонения для небольшого количества расчетных точек, не превышает 25 тыс. м<sup>3</sup>. Результаты полученные для первой категории местности, существенно отличаются от таковых для второй и третьей категории.

Увеличение расстояния подвозки песка при  $Q \leq 500$  приводит к увеличению затрат на строительство дорог с железобетонным покрытием [7]. Рис. 1–3 демонстрирует влияние этого параметра на расположение границ на примере трех автопоездов — «Урал», КамАЗ, МАЗ. В рабочем интервале изменения  $LP$  получено достаточно устойчивое положение границ при всех вари-

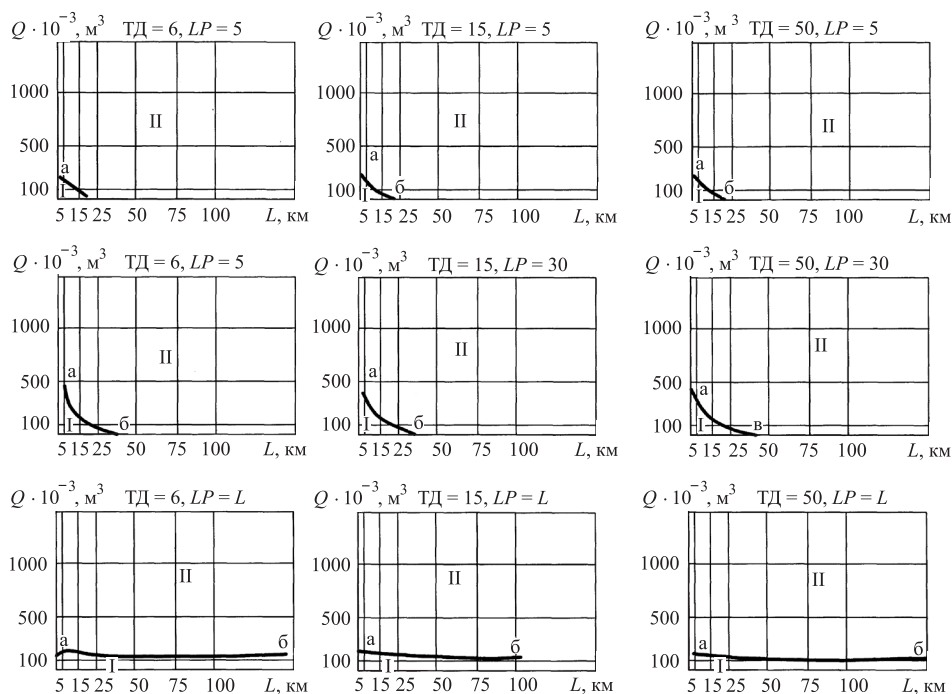


**Рис. 1.** Влияние расстояния подвозки песка на области применения видов покрытий при  $\xi = 1$  для автопоезда «Урал-43204-1112-40», область применения: I — гравийного покрытия; II — железобетонного покрытия; III — асфальтобетона; а–г — участки строгих границ областей применения видов покрытий

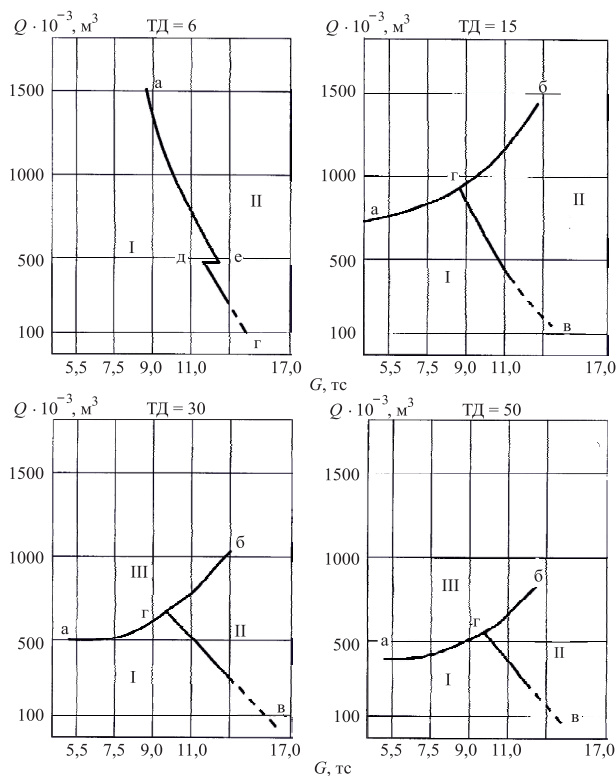
**Fig. 1.** Influence of the sand transport distance on the area of application of the types of coatings with  $\xi = 1$  for a tractor-trailer train Ural-43204-1112-40, field of application: I — gravel cover; II — reinforced concrete covering; III — asphalt-concrete; а–г — areas of specific boundaries of application areas of coating types



**Рис. 2.** Влияние расстояния подвозки песка на области применения видов покрытий при  $\xi = 1$  для автопоезда КамАЗ-53212+ГКВ-8352, область применения: I — гравийного покрытия; II — железобетонного покрытия; III — асфальтобетона; а-г — участки строгих границ областей применения видов покрытий  
**Fig. 2.** Influence of the distance of sand transport on the area of application of coating types at  $\xi = 1$  for a tractor-trailer train KamAZ-53212+GKB-8352, field of application: I — gravel cover; II — reinforced concrete covering; III — asphalt concrete; а-г — areas of specific boundaries of application areas of coating types



**Рис. 3.** Влияние расстояния подвозки песка на области применения видов покрытий при  $\xi = 1$  для автопоезда МАЗ-6312V9-420-012, область применения: I — гравийного покрытия; II — железобетонного покрытия; III — асфальтобетона; а-г — участки строгих границ областей применения видов покрытий  
**Fig. 3.** Influence of the distance of sand transport on the area of application of coating types with  $\xi = 1$  for a tractor-trailer train MAZ-6312V9-420-012, field of application: I — gravel cover; II — reinforced concrete covering; III — asphalt concrete; а-г — areas of strict boundaries of application areas of coating types

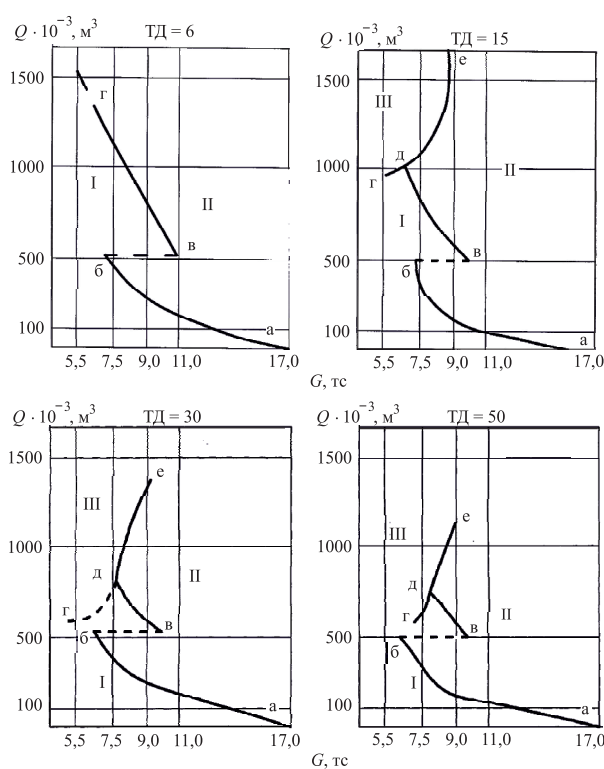


**Рис. 4.** Влияние осевых нагрузок на области применения видов покрытий при  $\xi = 1$ ,  $L = 5$  для автопоезда «Урал-43204-1112-40», область применения: I — гравийного покрытия; II — железобетонного покрытия; III — асфальтобетона; а-г — участки строгих границ областей применения видов покрытий; - - - - экстраполяция границ областей применения видов покрытий

**Fig. 4.** Influence of axial loads on the field of application of types of coatings for  $\xi = 1$ ,  $L = 5$  for Ural-43204-1112-40 tractor-trailer train, application area: I — gravel cover; II — reinforced concrete covering; III — asphalt concrete; а-г — areas of strict boundaries of application areas of coatings; - - - - extrapolation of the boundaries of application areas of coating types

антах сроков службы дороги [8]. На рис. 4, 5 представлены зависимости области применения видов покрытий для первой категории местности от осевых нагрузок и грузооборота в порядке нарастания сроков службы дороги и расстояний подвозки гравия для тягача.

На рис. 6–8 представлены зависимости области применения видов покрытий от срока службы дороги по типам лесовозных автопоездов для разных категорий местности [2]. С увеличением срока службы и расстояния подвозки гравия возрастает область применения асфальтобетонного и железобетонного покрытий. У автопоездов с более высокими осевыми нагрузками больше область применения железобетонного покрытия. На рис. 9–10 представлены зависимости области применения видов покрытий от расстояния под-



**Рис. 5.** Влияние осевых нагрузок на области применения видов покрытий при  $\xi = 1$ ,  $L = 25$  для автопоезда КамАЗ-53215, область применения: I — гравийного покрытия; II — железобетонного покрытия; III — асфальтобетона; а-г — участки строгих границ областей применения видов покрытий; - - - - экстраполяция границ областей применения видов покрытий

**Fig. 5.** Influence of axial loads on the field of application of types of coatings with  $\xi = 1$ ,  $L = 25$  for KamAZ-53215 tractor-trailer train, field of application: I — gravel cover; II — reinforced concrete covering; III — asphalt concrete; а-г — areas of specific boundaries of application areas of coatings; - - - - extrapolation of the boundaries of application areas of coating types

возки гравия по типам лесовозных автопоездов для разных категорий местности. С увеличением расстояния подвозки гравия растут области применения асфальтобетонного и железобетонного покрытий [4, 9, 10].

### Выводы

1. Установлены и обоснованы области применения различных видов покрытий лесовозных дорог. Полученные материалы позволяют определить наиболее эффективные в определенных условиях виды покрытий. Доказана целесообразность применения качественных видов покрытий на лесовозных дорогах.

2. Для дорог с покрытием из битумо-минеральных смесей практически не нашлось области применения черногравийному покрытию. Грузо-

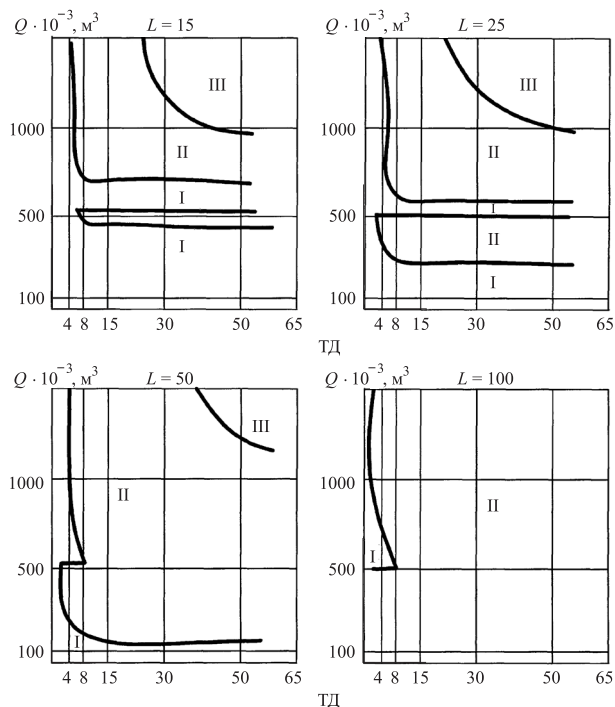


Рис. 6. Влияние срока службы дороги на области применения видов покрытий при  $\xi = 1$  и  $LP = 50$  для автопоезда МАЗ-6312В9-420-012, область применения: I — гравийного покрытия; II — железобетонного покрытия; III — асфальтобетона

Fig. 6. Influence of road service life on the area of application of the types of coatings with  $\xi = 1$  and  $LP = 50$  for the MAZ-6312V9-420-012 tractor-trailer train, application area: I — gravel cover; II — reinforced concrete covering; III — asphalt concrete

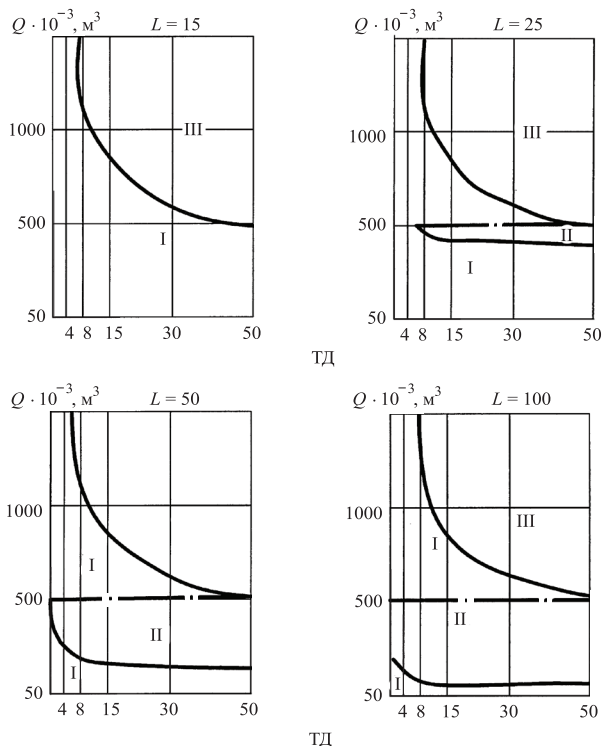


Рис. 7. Влияние срока службы дороги на области применения видов покрытий при  $\xi = 3$  и  $LP = 15$  для автопоезда «Урал-43204-1112-40», область применения: I — гравийного покрытия; II — железобетонного покрытия; III — асфальтобетона; — · — граница скачкообразного перехода с железобетонного покрытия на гравийное или асфальтобетонное при грузообороте  $Q = 500$ , после которого вместо песчаной начинают применять гравийную (щебеночную) подушку

Fig. 7. Influence of road service life on the area of application of types of coatings for  $\xi = 3$  and  $LP = 15$  for the Урал-43204-1112-40 tractor-trailer train, application area: I — gravel cover; II — reinforced concrete covering; III — asphalt concrete; — · — the boundary of the jump transition from reinforced concrete to gravel or asphalt concrete at a turnover of  $Q = 500$ , after which gravel (shingle) bedding is used

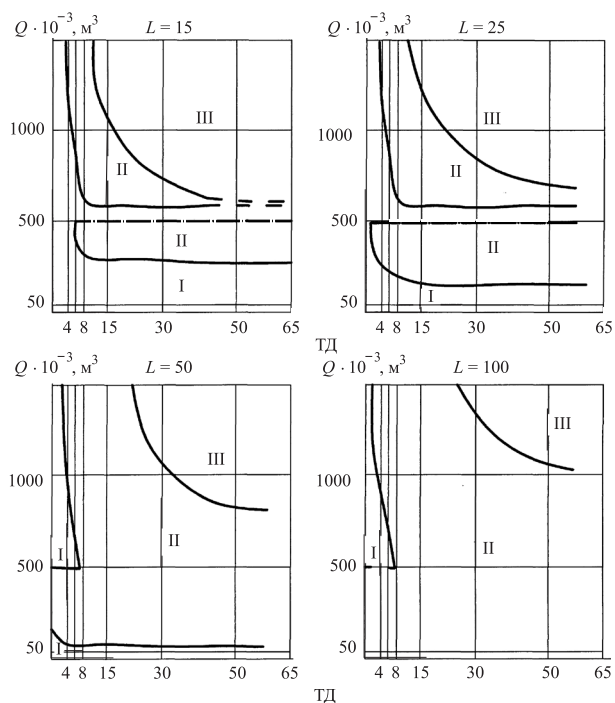
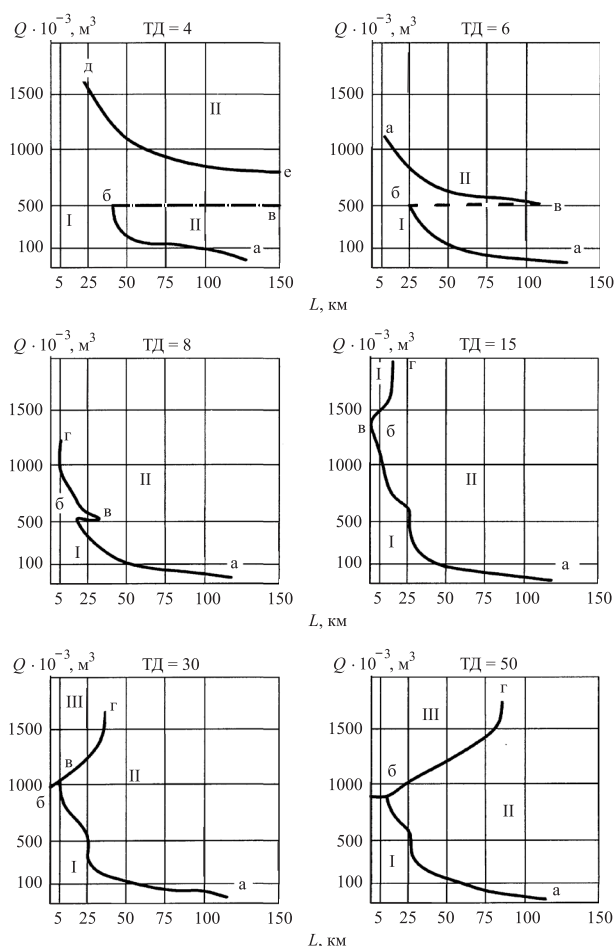


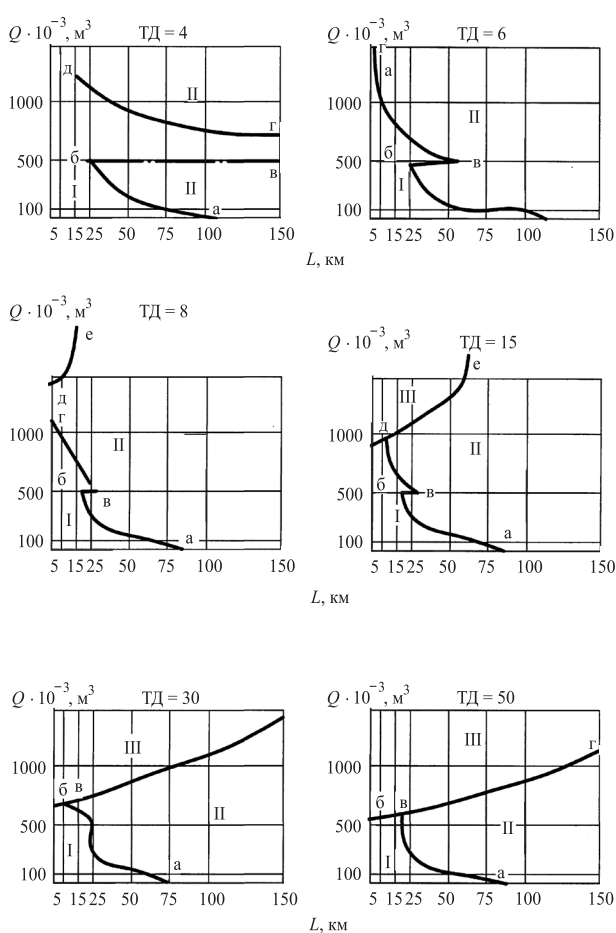
Рис. 8. Влияние срока службы дороги на области применения видов покрытий  $\xi = 3$  и  $LP = 15$  для автопоезда КамАЗ-53212+ГКБ-8352, область применения: I — гравийного покрытия; II — железобетонного покрытия; III — асфальтобетона; - - - экстраполяция границ областей применения видов покрытий; — · — граница скачкообразного перехода с железобетонного покрытия на гравийное или асфальтобетонное при грузообороте  $Q = 500$ , после которого вместо песчаной начинают применять гравийную (щебеночную) подушку

Fig. 8. Influence of road service life on the area of application of types of coatings  $\xi = 3$  and  $LP = 15$  for the KamAZ-53212 +GKB-8352 trailer, application area: I — gravel cover; II — reinforced concrete covering; III — asphalt concrete; - - - extrapolation of the boundaries of application areas of coatings; — · — the boundary of the jump transition from reinforced concrete to gravel or asphalt concrete at a turnover of  $Q = 500$ , after which gravel (shingle) bedding is used



**Рис. 9.** Влияние срока службы дороги на области применения видов покрытий при  $\xi = 1$  и  $LP = 30$  для автопоезда МАЗ-6312В9+ГКБ-9383, область применения: I — гравийного покрытия; II — железобетонного покрытия; III — асфальтобетона; а-г — участки строгих границ областей применения видов покрытий; - - - - экстраполяция границ областей применения видов покрытий; — · — граница скачкообразного перехода с железобетонного покрытия на гравийное или асфальтобетонное при грузообороте  $Q = 500$ , после которого вместо песчаной начинают применять гравийную (щебеночную) подушку

**Fig. 9.** Influence of road service life on the area of application of the types of coatings with  $\xi = 1$  and  $LP = 30$  for the MAZ-6312B9+GKB-9383 tractor-trailer train, application area: I — gravel cover; II — reinforced concrete covering; III — asphalt concrete; a-d — areas of specific boundaries of application areas of coatings; - - - - extrapolation of the boundaries of application areas of coatings; — · — the boundary of the jump transition from reinforced concrete to gravel or asphalt concrete at a turnover of  $Q = 500$ , after which gravel (shingle) bedding is used



**Рис. 10.** Влияние срока службы дороги на области применения видов покрытий при  $\xi = 1$  и  $LP = 30$  для автопоезда «Урал-43204-1112-40», область применения: I — гравийного покрытия; II — железобетонного покрытия; III — асфальтобетона; а-г — участки строгих границ областей применения видов покрытий; — · — граница скачкообразного перехода с железобетонного покрытия на гравийное или асфальтобетонное при грузообороте  $Q = 500$ , после которого вместо песчаной начинают применять гравийную (щебеночную) подушку

**Fig. 10.** Influence of road service life on the area of application of types of coatings for  $\xi = 1$  and  $LP = 30$  for the Ural-43204-1112-40 tractor-trailer train, application area: I — gravel cover; II — reinforced concrete covering; III — asphalt concrete; a-d — areas of specific boundaries of application areas of coatings; — · — the boundary of the jump transition from reinforced concrete to gravel or asphalt concrete at a turnover of  $Q = 500$ , after which gravel (shingle) bedding is used

оборот на черногравийных дорогах не превышал 25 тыс. м<sup>3</sup>, что объясняется некоторым ухудшением эксплуатационных показателей данного покрытия по сравнению с асфальтобетонным.

3. Выявлены большие области применения железобетонного покрытия, что говорит о перспективности использования покрытий жесткого типа на лесовозных дорогах. В дальнейшем, с введением в рассмотрение цементобетонного покрытия, следует ожидать, что найденные области применимости покрытия жесткого типа раскроются по конструктивным вариантам.

4. Разработана экономико-математическая модель, в логистической структуре которой учитываются взаимоотношения следующих элементов процесса: дороги, транспорта, складов ГСМ, ремонтно-гаражного хозяйства. Модель дает возможность провести сравнительное исследование гравийного, железобетонного, черногравийного и асфальтобетонного покрытий. Предусмотрен поиск области применения неравнопрочной проезжей части дороги для черногравийного и асфальтобетонного покрытий.

5. С помощью разработанной модели (см. формулу (1)) могут быть установлены области безусловного применения и буферные области, где граничащие виды покрытий взаимозаменяемы по технико-экономическим показателям.

## Список литературы

- [1] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Арутюнян А.Ю. Результаты исследования колееобразования на грунтовых усах лесовозных дорог // Вестник МГУЛ — Лесной вестник. 2016. Т. 20. № 2. С. 159–166.
- [2] Козлов В.Г., Кондрашова Е.В., Скрыпников А.В., Скворцова Т.В. Моделирование транспортного потока на лесовозных автомобильных дорогах // Современные проблемы науки и образования, 2015. № 1–1. С. 432.
- [3] Ковалев Н.С., Ромасев В.И., Князев В.А. Снижение скользкости покрытий при зимнем содержании автомобильных дорог // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития: Сб. тр. науч.-практ. конф., Одесса, 1–15 октября 2005 г. Одесса: Внешнеэкономический сервис, 2005. С. 53–57.
- [4] Логачев В.Н. Повышение транспортно-эксплуатационных качеств лесовозных автомобильных дорог в условиях ограниченных ресурсов: Дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. М.: МГУЛ, 2015. 187 с.
- [5] Ковалев Н.С., Быкова Я.А. Исследование усталостной долговечности асфальтобетона с углеродсодержащим материалом при циклическом динамическом нагружении // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. Строительство и архитектура. 2008. № 12. С. 62–66.
- [6] Козлов В.Г., Журавлев И.Н., Кондрашова Е.В., Умаров М.М. Математическая модель статистической идентификации информационного обеспечения автомобильного транспорта // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий, 2016. № 1 (67). С. 45–51.
- [7] Самодуров С.И., Маслов С.М., Ковалев Н.С. О долговечности битумошлаковых покрытий автомобильных дорог // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1976. № 8. С. 147–151.
- [8] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Ломакин Д.В., Логойда В.С. Методологическое обоснование особенностей проектирования трассы по методу опорных элементов // Фундаментальные исследования, 2016. № 12–1. С. 62–68.
- [9] Никитин В.В., Козлов В.Г., Арутюнян А.Ю., Умаров М.М. Имитационная модель функционирования лесовозной автомобильной дороги // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2016. Т. 20. № 2. С. 167–172.
- [10] Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision // Journal of Engineering and Applied Sciences, 2017, v. 12, no. 2.
- [11] Козлов В.Г., Кондрашова Е.В., Заболотная А.А., Скворцова Т.В. Модернизация имитационной системы процесса функционирования автомобильных дорог с использованием информационных технологий // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–1. С. 433.
- [12] Подольский В.П., Ковалев Н.С., Яковлев Е.В., Слепцова О.В. Исследование возможности применения металлизированных углеродных волокон в качестве структурирующей добавки в дорожный асфальтобетон // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. Строительство и архитектура, 2013. № 4 (32). С. 62–69.

## Сведения об авторах

**Скрыпников Алексей Васильевич** — д-р техн. наук, профессор, декан факультета «Управление и информатика в технологических системах» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrypnikovvsafe@mail.ru

**Козлов Вячеслав Геннадиевич** — канд. техн. наук, доцент, заместитель декана по научной работе агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», vya-kozlov@yandex.ru

**Ломакин Дмитрий Валерьевич** — преподаватель ФГКОУ ВО «Воронежский институт Министрства внутренних дел Российской Федерации», atommic93dv@mail.ru

**Микова Елена Юрьевна** — преподаватель кафедры «Дорожное, промышленное и гражданское строительство» Сыктывкарского лесного института (филиал) ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», Leencha@ya.ru

Статья поступила в редакцию 22.08.2017 г.



## THE USE OF ECONOMIC-MATHEMATICAL METHODS TO IDENTIFY AREAS OF USE OF TYPES OF COATINGS

A.V. Skrypnikov<sup>1</sup>, V.G. Kozlov<sup>2</sup>, D.V. Lomakin<sup>3</sup>, E.Yu. Mikova<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh

<sup>2</sup> Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

<sup>3</sup> Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia

<sup>4</sup> Syktyvkar Forest Institute (branch) of the Federal State Budget Education Institution of Higher Education «St. Petersburg State Forestry University named after SM Kirov»

skrypnikovvsafe@mail.ru

The article is devoted to the development and analysis of mathematical models for determining the use of coatings, logistic structure which takes into account the relationship of the following elements of the process such as forest roads; vehicles; fuel storage; repair garage services. The object of the study was a subsystem of the «road-car». Method of the study was simulation and computer modeling applications of the types of coatings that allow to conduct a comparative study for gravel, concrete, black gravel and asphalt pavement, and also included a search scope of unequal carriageway for cerographical and asphalt coverings. In connection with the increase in axial loads of vehicles expanding the scope of the rigid pavement type such as furrow and concrete tracks and therefore, increased distance of sand haulage, in its turn, reduces the field of application of coatings and rigid type. The results of the research was the increase in the lifetime of a road leading to a change in the direction of increasing the field of application of asphalt coatings, which in turn is explained by a decrease in depreciation, including the renovation and increase in the weight of operational indexes of truck trailer, including an increase in their mileage to disposal. Developed economic-mathematical model of definition of fields of use of coatings, logistic structure which takes into account all the relationship of the elements of the process, gives the opportunity to conduct a comparative study for gravel, concrete, black gravel and asphalt covering of roads. Using the developed mathematical model can be set region unconditional application, and the buffer region where bordering kinds of coverings interchangeable on techno-economic indicators.

**Keywords:** forest roads, road train, axle load, road surface, mathematical model, given costs

**Suggested citation:** Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Lomakin D.V., Mikova E.Yu. *Primenenie ekonomiko-matematicheskikh metodov dlya opredeleniya oblastey ispol'zovaniya vidov pokrytiy* [The use of economic-mathematical methods to identify areas of use of types of coatings] *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 5, pp. 23–32. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-5-23-32

### References

- [1] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Arutyunyan A.Yu. *Rezultaty issledovaniya koleeobrazovaniya na gruntovykh usakh lesovoznykh dorog* [Results of the study of the rutting on the earth's mustache of forest roads] *Moscow state forest university bulletin — Lesnoy vestnik*, 2016, t. 20, no. 2, pp. 159–166.
- [2] Kozlov V.G., Kondrashova E.V., Skrypnikov A.V., Skvortsova T.V. *Modelirovanie transportnogo potoka na lesovoznykh avtomobil'nykh dorogakh* [Modeling of the traffic flow on logging highways] *Modern problems of science and education*, 2015, no. 1–1, p. 432.
- [3] Kovalev N.S., Romasev V.I., Knyazev V.A. *Snizhenie skol'zkosti pokrytiy pri zimnem soderzhanii avtomobil'nykh dorog* [Decrease in the slipperiness of coatings in the winter maintenance of highways] *Scientific research and their practical application. Current state and ways of development. Scientific-practical. Conf., Sat. sci. Tr., Odessa, October 1–15, 2005* Odessa: Vneshklassamservice, 2005. pp. 53–57.
- [4] Logachev V.N. *Povyshenie transportno-eksploatatsionnykh kachestv lesovoznykh avtomobil'nykh dorog v usloviyakh ogranichennykh resursov: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Increase of transport-operational qualities of forest roads in conditions of limited resources: dis. ... Cand. Sci. (Tech.)]. 05.21.01. Moscow: MGUL, 2015. 187 p.
- [5] Kovalev N.S., Bykova Ya.A. *Issledovanie ustalostnoy dolgovechnosti asfal'tobetona s uglerodsoderzhashchim materialom pri tsiklicheskom dinamicheskom nagruzhenii* [Investigation of fatigue life of asphalt concrete with carbon-containing material under cyclic dynamic loading] *Bulletin of Volgograd State Architectural and Construction University. Series: Construction and architecture*, 2008, no. 12, pp. 62–66.
- [6] Kozlov V.G., Zhuravlev I.N., Kondrashova E.V., Umarov M.M. *Matematicheskaya model' statisticheskoy identifikatsii informatsionnogo obespecheniya avtomobil'nogo transporta* [Mathematical model of statistical identification of information support of motor transport] *Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies*, 2016, no. 1 (67), pp. 45–51.
- [7] Samodurov S.I., Maslov S.M., Kovalev N.S. *O dolgovechnosti bitumoshlakovykh pokrytiy avtomobil'nykh dorog* [On the durability of bitumen-slag coatings of highways] *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Building*, 1976, no. 8, pp. 147–151.
- [8] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Lomakin D.V., Logoyda V.S. *Metodologicheskoe obosnovanie osobennostey proektirovaniya trassy po metodu opornykh elementov* [Methodological substantiation of the features of the design of the route using the method of support elements] *Fundamental Research*, 2016, no. 12–1, pp. 62–68.
- [9] Nikitin V.V., Kozlov V.G., Arutyunyan A.Yu., Umarov M.M. *Imitatsionnaya model' funktsionirovaniya lesovoznoy avtomobil'noy dorogi* [Simulation model of the functioning of the timber road highway] *Moscow state forest university bulletin — Lesnoy vestnik*, 2016, t. 20, no. 2, pp. 167–172.
- [10] Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. *Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Information Provision*. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, January 2017, v. 12, no. 2.
- [11] Kozlov V.G., Kondrashova E.V., Zabolotnaya A.A., Skvortsova T.V. *Modernizatsiya imitatsionnoy sistemy protsessa funktsionirovaniya avtomobil'nykh dorog s ispol'zovaniem informatsionnykh tekhnologiy* [Modernization of the simulation

system of the process of functioning of motor roads using information technologies] Modern problems of science and education, 2015, no. 1–1, p. 433.

- [12] Podol'skiy V.P., Kovalev N.S., Yakovlev E.V., Sleptsova O.V. *Issledovanie vozmozhnosti primeneniya metallizirovannykh uglerodnykh volokon v kachestve strukturiruyushchey dobavki v dorozhnyy asfal'tobeton* [Investigation of the possibility of using metallized carbon fibers as a structuring additive in road asphalt concrete] Scientific Herald of the Voronezh State Architectural and Construction University. Construction and architecture, 2013, no. 4 (32), pp. 62–69.

## Author's information

**Skrypnikov Aleksey Vasil'evich** — D-r Sci. (Tech.), Professor, Voronezh State University of Engineering Technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

**Kozlov Vyacheslav Gennadievich** — Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Professor, Voronezh State Agricultural University named after Emperor Peter I, vya-kozlov@yandex.ru

**Lomakin Dmitriy Valer'evich** — lecturer, Voronezh Institute of the Ministry of internal Affairs of the Russian Federation, atommic93dv@mail.ru

**Mikova Elena Yur'evna** — lecturer, Syktyvkar Forest Institute (branch) of the «St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov», Leencha@ya.ru

Received 22.08.2017