

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №2 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-2>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/42TVN216.pdf>

DOI: 10.15862/42TVN216 (<http://dx.doi.org/10.15862/42TVN216>)

Статья опубликована 11.04.2016.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Потеряев И.К., Суковин М.В., Алешков Д.С. Методика вероятностной оценки интенсивности использования дорожно-строительной машины – асфальтоукладчика – в сменное время // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №2 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/42TVN216.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/42TVN216

УДК 625.76.08

Потеряев Илья Константинович

ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия», Россия, Омск¹
Доцент кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно - технологических машин и комплексов в строительстве»
Кандидат технических наук
E-mail: poteryaev_ik@mail.ru
РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=782244

Суковин Михаил Владимирович

ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия», Россия, Омск
Доцент кафедры «Техносферная безопасность»
Кандидат технических наук
E-mail: sukovin8@gmail.ru
РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=822659

Алешков Денис Сергеевич

ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия», Россия, Омск
Доцент, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность»
Кандидат технических наук
E-mail: denisaleshkov@mail.ru
РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=257853

**Методика вероятностной оценки интенсивности
использования дорожно-строительной машины –
асфальтоукладчика – в сменное время**

Аннотация. В статье представлены уравнения множественной регрессии темпов строительства асфальтобетонных покрытий в природно-климатических условиях – гористый рельеф, резко континентальный климат и холмисто-увалистый рельеф, континентальный климат. Уравнения получены на основании статистических исследований проведенных в Республике Алтай при укладке нижнего и верхнего слоев основания, а также верхнего слоя асфальтобетонной смеси в летние и осенние месяцы. В статье описывается методика вероятностной оценки интенсивности использования асфальтоукладчика в сменное время при укладке различных слоев асфальтобетонной смеси. Представленная методика учитывает функционирование специализированного комплекта машин в условиях неблагоприятных природно-климатических факторов, а также технологические условия укладки различных

¹ 644090, г. Омск, ул. Заозерная 17, кв. 197

слоев покрытий. Показаны расчетные и фактические зависимости коэффициентов внутрисменного использования асфальтоукладчиков различной технической производительности от объемов укладываемой асфальтобетонной смеси в смену. Графоаналитический способ определения вероятностей позволяет определить математические ожидания коэффициентов внутрисменного использования дорожно-строительной машины – асфальтоукладчика – с наложением ограничений по организационно-технологической надежности на функционирование специализированного комплекта машин. Получены вероятностные функции случайных значений коэффициентов внутрисменного использования асфальтоукладчиков различной технической производительности с учетом наложения ограничений по избыточной организационно-технологической надежности.

Ключевые слова: асфальтоукладчик; асфальтобетонное покрытие; асфальтобетонная смесь; специализированный комплект машин; темп строительства; производительность; организационно-технологическая надежность

При строительстве автомобильных дорог используются специализированные комплекты машин смешанного действия в состав которых входят асфальтоукладчики, катки, перегружатели, автогудронаторы, асфальто-смесительные установки, автосамосвалы [1, 2]. Эксплуатационная производительность всего технологического комплекса определяется эксплуатационной производительностью ведущей машины – асфальтоукладчика, которая зависит от совокупности производственных и климатических факторов.

Показателем режима работы асфальтоукладчика (интенсивности использования) в сменное время является коэффициент его внутрисменного использования [3].

На основании статистических исследований проведенных при строительстве асфальтобетонного покрытия к мостовому переходу через р. Катунь (село Усть-Сема, Республика Алтай) и капитальном ремонте автомобильной дороги М-52 «Чуйский тракт» от Новосибирска через Бийск до границы с Республикой Монголия, закрытым акционерным обществом научно-производственная компания «Дорожно-строительные технологии» получены выборки параметров технологического процесса строительства асфальтобетонных покрытий, а также оценено влияние совокупности неблагоприятных производственных условий и природно-климатических факторов на параметры функционирования системы «асфальтоукладчик – транспортные средства – асфальто-смесительная установка».

Исследования проводились в летние и осенние месяцы (июнь-ноябрь) при производстве и укладке трех видов асфальтобетонных смесей: горячей пористой марки I (нижний слой основания), горячей плотной марки I типа Б (верхний слой основания), и битумоминеральной (верхний слой). Районы строительства асфальтобетонного покрытия гористые (502 – 1717 метров над уровнем моря), климат резко континентальный. Асфальтобетонная смесь изготавливалась на асфальто-смесительной установке Milemaker 160 (техническая производительность 160 тонн/час), укладывалась асфальтоукладчиками Titan 7820 и Titan 326 (техническая производительность 700 тонн/час); дальность транспортирования асфальтобетонных смесей составляла 34,4 и 64 километров; ширина укладываемой полосы – 8 метров; толщина укладываемого слоя асфальтобетонной смеси – 0,04-0,12 метров; использовались самосвалы грузоподъемностью 18-20 тонн. Средняя скорость транспортирования асфальтобетонной смеси (АБС) с учетом рельефа местности составляла 59 км/ч.

На основании полученных в ходе исследований статистических данных с помощью метода Брандона [4] были получены уравнения множественной регрессии с учетом укладки асфальтобетонного покрытия разной толщины (таблица 1).

Уравнения множественной регрессии вероятностной математической модели параметров функционирования системы «асфальтоукладчик – транспортные средства – асфальтосмесительная установка» позволяют использовать новый подход в оценках интенсивности использования асфальтоукладчика в сменное время при укладке различных слоев асфальтобетонной смеси разной толщины $h_{сл}$. При таком подходе зависимости коэффициентов внутрисменного использования асфальтоукладчиков от их технической производительности могут быть рассчитаны по параметрам: темп строительства асфальтобетонного покрытия в сменное время $T_{см}$, число транспортных средств, используемых в транспортных операциях в течение сменного времени $N_{тс}$ и продолжительность работы асфальтосмесительной установки в сменное время $\tau_{асу}$.

Эксплуатационная сменная производительность асфальтоукладчика определяется с использованием выражения [3]

$$P_{эасф}^{см} = 60 \cdot t_{см} \cdot K_B \cdot B \cdot h_{сл} \cdot v \cdot \rho, \quad (1)$$

где $t_{см}$ – продолжительность смены, ч; K_B – коэффициент использования машины по времени; B – ширина укладываемой полосы, м; $h_{сл}$ – толщина укладываемого слоя, м; v – рабочая скорость укладчика, м/мин; ρ – требуемая плотность АБС, т/м³.

Таблица 1

Уравнения множественной регрессии темпов укладки и уплотнения АБС

Укладываемый слой АБС, м	Уравнения множественной регрессии	Достоверность прогнозирования, %
Гористый рельеф, резко континентальный климат		
Нижний слой основания $h_{сл} = 0,10 - 0,14$	$T_{см} = 0,88 \cdot P_{эасф}^{см\ 0,97} \cdot N_{тс}^{0,04} \cdot e^{0,003 \cdot \tau_{асу}}$	85
Верхний слой основания $h_{сл} = 0,05 - 0,07$	$T_{см} = 1,24 \cdot P_{эасф}^{см\ 1,03} \cdot N_{тс}^{0,036} \cdot e^{0,004 \cdot \tau_{асу}}$	80
Верхний слой $h_{сл} = 0,03 - 0,05$	$T_{см} = 1,31 \cdot P_{эасф}^{см\ 0,9} \cdot N_{тс}^{0,11} \cdot e^{0,005 \cdot \tau_{асу}}$	78
Холмисто-увалистый рельеф, континентальный климат		
Нижний слой основания $h_{сл} = 0,10 - 0,14$	$T_{см} = 0,84 \cdot P_{эасф}^{см\ 1,02} \cdot N_{тс}^{0,03} \cdot e^{0,002 \cdot \tau_{асу}}$	85
Верхний слой $h_{сл} = 0,05 - 0,07$	$T_{см} = 2,11 \cdot P_{эасф}^{см\ 1,04} \cdot N_{тс}^{0,064} \cdot e^{0,02 \cdot \tau_{асу}}$	84

На рисунке 1 представлены зависимости коэффициентов внутрисменного использования асфальтоукладчика в функции его технической производительности с учетом ширины укладываемой полосы $B=4$ м, рабочей скорости асфальтоукладчиков $v=5$ м/мин, требуемой плотности асфальтобетонной смеси $\rho=2,4$ т/м³.

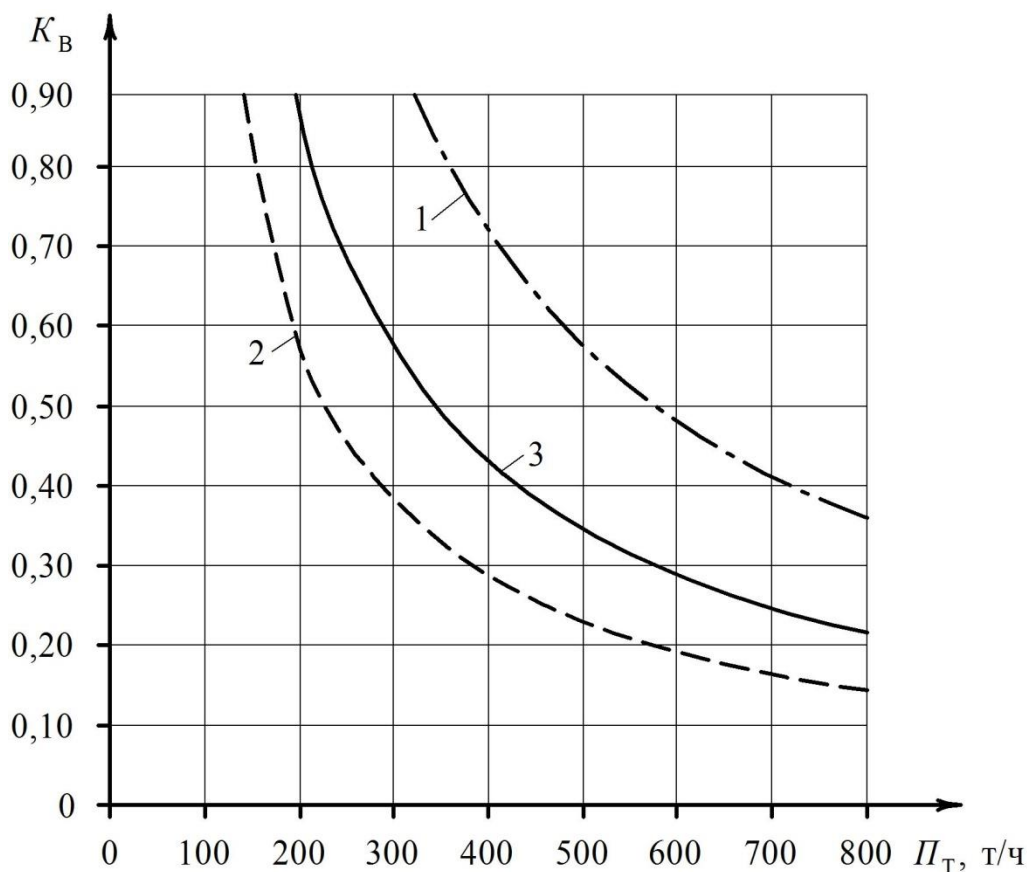


Рисунок 1. Зависимости коэффициентов K_B асфальтоукладчиков от их технической производительности P_T : 1 – толщина укладываемого слоя 0,10 м; 2 – толщина укладываемого слоя 0,06 м; 3 – толщина укладываемого слоя 0,04 м (рисунок авторов – Потеряев Илья Константинович)

Для условий строительства нижнего слоя основания в местности с гористым рельефом и резко континентальным климатом из уравнения множественной регрессии коэффициент K_B равен

$$K_B = \frac{0,97 \sqrt{\frac{T_{CM}}{0,88 \cdot N_{TC}^{0,04} \cdot e^{0,003 \cdot \tau_{acy}}}}}{P_T} \quad (2)$$

Выполнив расчеты по параметрам T_{CM} , N_{TC} и τ_{acy} для различных значений технической производительности P_T с использованием выражения 1, получим зависимость K_B от параметра P_T – кривая 1, рисунок 2.

Подобным образом, используя соответствующие уравнения множественной регрессии, получены зависимости 2 и 3 (рисунок 2).

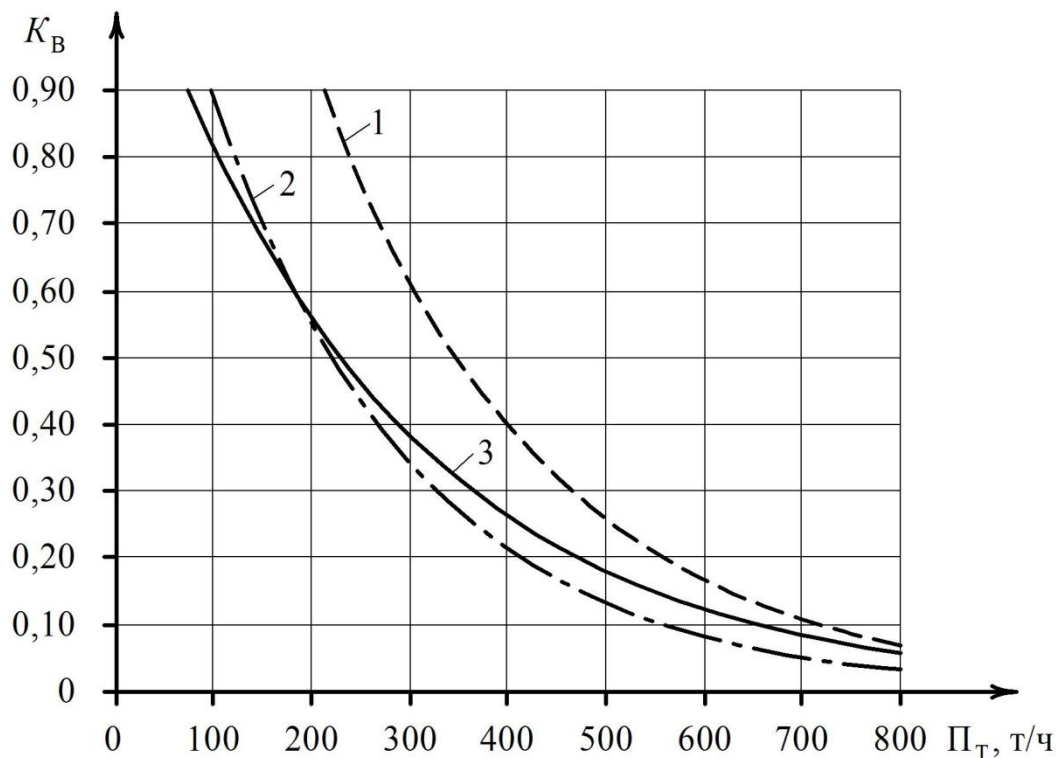


Рисунок 2. Зависимости коэффициентов K_B асфальтоукладчиков от их технической производительности P_T с учетом укладки покрытий в условиях гористого рельефа и резко континентального климата: 1 – толщина укладываемого слоя 0,10 м; 2 – толщина укладываемого слоя 0,06 м; 3 – толщина укладываемого слоя 0,04 м (рисунок авторов – Потеряев Илья Константинович)

Сравнение полученных зависимостей K_B асфальтоукладчиков от их технической производительности (рисунки 1 и 2) свидетельствуют, что неблагоприятные условия функционирования системы «асфальтоукладчик – транспортные средства – асфальтосмесительная установка» существенным образом снижают интенсивность использования асфальтоукладчиков в технологических условиях укладки различных слоев покрытий. Так, для технической производительности асфальтоукладчика 500 т/ч расчетное значение K_B (зависимость 1, рисунок 1) 0,57. С учетом опыта строительства асфальтобетонных покрытий значение K_B (зависимость 1, рисунок 2) составит 0,27.

Прогнозирование и оценку интенсивности использования асфальтоукладчиков в сменное время при укладке различных слоев асфальтобетонной смеси с учетом их технической производительности можно определять вероятностными методами используя зависимость $K_B = f(q_{см})$ (рисунок 3).

Расчеты K_B , которые зависят от сменных объемов укладываемой смеси выполнены для нормативного значения продолжительности смены 8,2 часа [3] с использованием выражения

$$P_э = P_T \cdot K_B \cdot \tau_{см} \quad (3)$$

Результаты расчетов представлены на рисунке 3 зависимостями 1, 2, 3 для асфальтоукладчиков с различной их технической производительностью.

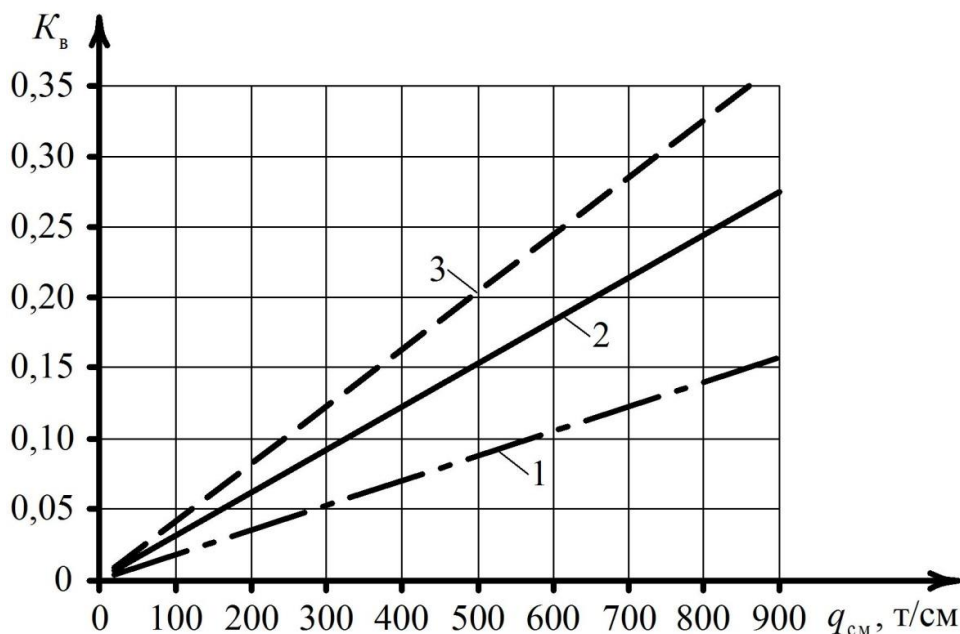


Рисунок 3. Зависимость коэффициентов K_B асфальтоукладчиков от объемов укладываемой АБС в смену q_{cm} ($\tau_{см}=8,2$ ч): 1 – зависимость $K_B = f(q_{cm})$ ($\Pi_{T\text{асф}}=700$ т/ч); 2 – зависимость $K_B = f(q_{cm})$ ($\Pi_{T\text{асф}}=400$ т/ч); 3 – зависимость $K_B = f(q_{cm})$ ($\Pi_{T\text{асф}}=300$ т/ч)
(рисунок авторов – Потеряев Илья Константинович)

В фактических условиях строительства продолжительность сменного времени отличалась от ее нормированных значений 8,2 ч, соответствовали продолжительности работы асфальтосмесительной установки в сменное время [5, 6]. С учетом таких условий, зависимости $K_B = f(q_{cm})$ представлены на рисунке 4.

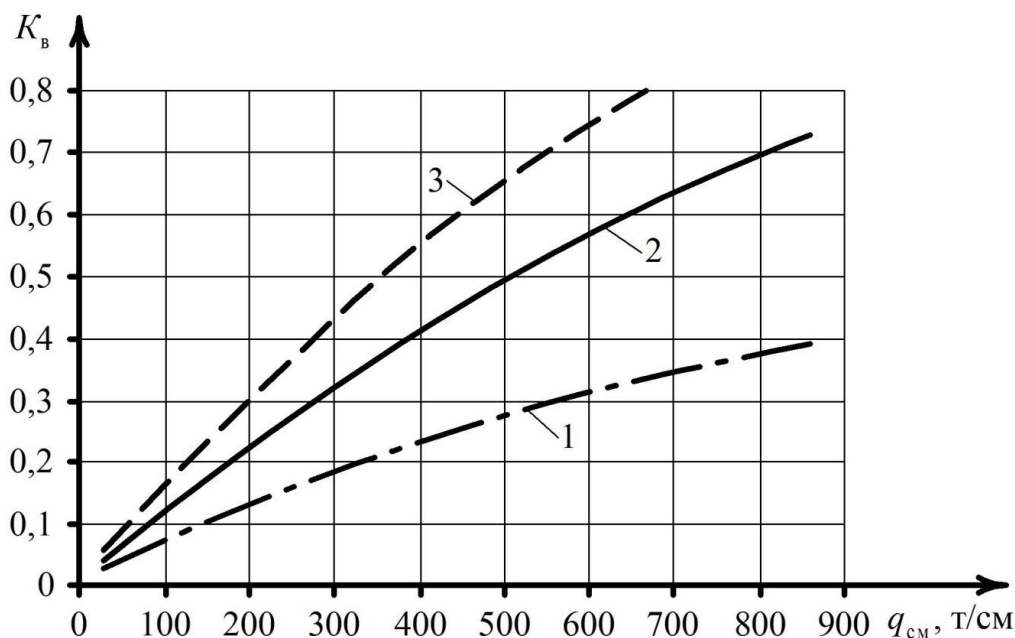


Рисунок 4. Зависимость коэффициентов K_B асфальтоукладчиков от объемов укладываемой АБС в смену: 1 – зависимость $K_B = f(q_{cm})$ ($\Pi_{T\text{асф}}=700$ т/ч); 2 – зависимость $K_B = f(q_{cm})$ ($\Pi_{T\text{асф}}=400$ т/ч); 3 – зависимость $K_B = f(q_{cm})$ ($\Pi_{T\text{асф}}=300$ т/ч)
(рисунок авторов – Потеряев Илья Константинович)

Сопоставляя эксплуатационную производительность асфальтоукладчика в сменное время по параметру K_B со сменными объемами укладываемой смеси нетрудно получить вероятностные функции случайных значений K_B , в которых будут учтены не только технологические условия укладки различных слоев покрытия (рисунок 2), но и наложено ограничение по избыточной организационно-технологической надежности специализированного комплекта машин (рисунок 5).

На рисунке 5 кривая 1, – вероятностная функция распределения случайных значений укладываемых объемов АБС (верхний слой, 0,03-0,04 м) с наложением ограничений по избыточной организационно-технологической надежности специализированного комплекта машин [7, 8, 9]. Кривая 2, – зависимость коэффициента внутрисменного использования асфальтоукладчика от сменных объемов АБС при укладке верхнего слоя покрытия (кривая 2, рисунок 4).

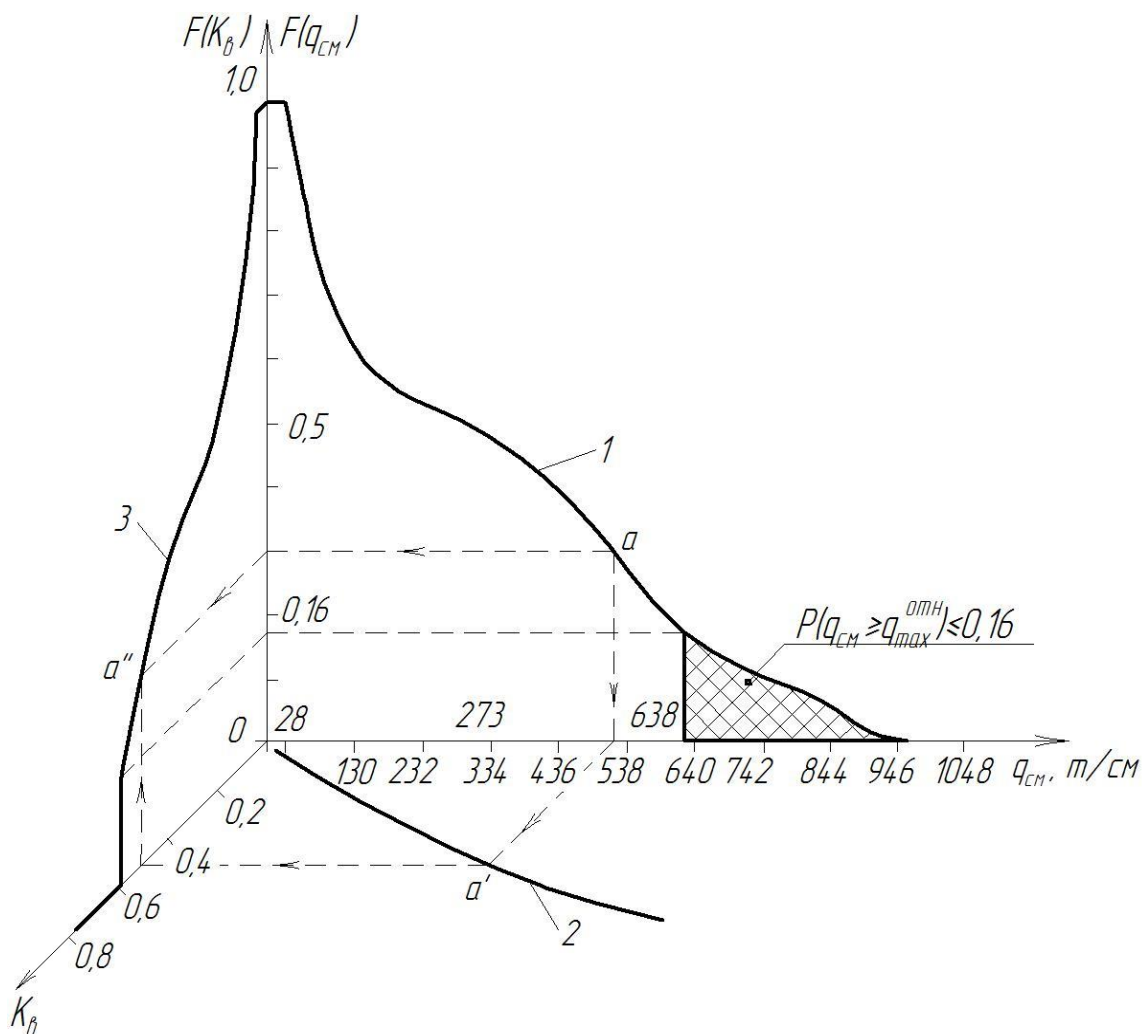


Рисунок 5. Графический способ построения вероятностной функции распределения случайных значений K_B при укладке верхнего слоя (0,03-0,04 м): 1 – вероятностная функция распределения случайных значений объемов укладываемой смеси, 2 – зависимость K_B асфальтоукладчика с производительностью $\Pi_{\Gamma \text{ асф}} = 400 \text{ т/ч}$ от сменных объемов укладываемой смеси; 3 – вероятностная функция распределения случайных значений $F(K_B)$ (рисунок авторов – Потеряев Илья Константинович)

Порядок построения вероятностной функции K_B случайных значений показан пунктирными линиями ($a-a'$, $a-a''$). На плоскости в координатах $F(K_B) - K_B$ представлена вероятностная функция распределения случайных значений этого параметра.

Подобным образом могут быть построены вероятностные функции $F(K_B)$ для асфальтоукладчиков с различной технической производительностью, которые представлены на рисунке 6.

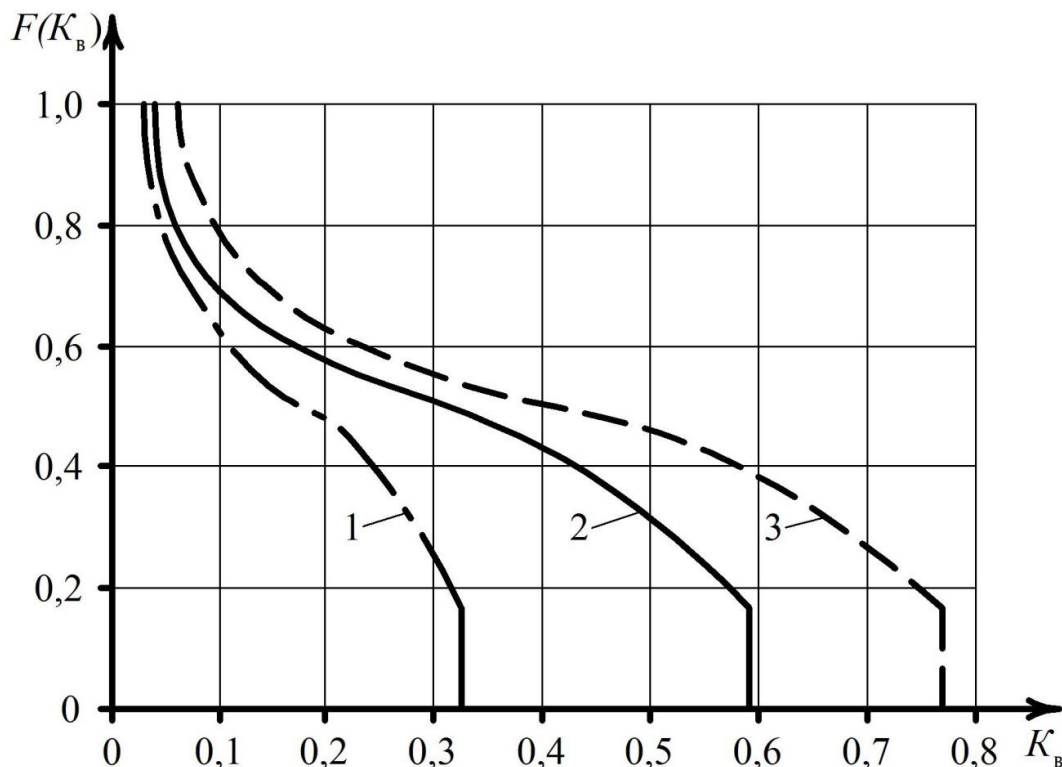


Рисунок 6. Вероятностные функции случайных значений K_B с учетом наложения ограничений по избыточной ОТН: 1 – функция K_B при $\Pi_{т асф}=700$ т/ч; 2 – функция K_B при $\Pi_{т асф}=400$ т/ч; 3 – функция K_B при $\Pi_{т асф}=300$ т/ч (рисунок авторов – Потеряев Илья Константинович)

Использование графоаналитического способа определения вероятностей и программного обеспечения «КОМПАС-3D» позволяет определить математические ожидания коэффициентов внутрисменного использования с наложением ограничений по организационно-технологической надежности на функционирование специализированного комплекта машин. Рассчитанные значения математических ожиданий параметров $q_{см}$, K_B , интервалы их изменений, в том числе по организационно-технологической надежности (ОТН) представлены в таблице 2.

Таблица 2

Оценка параметров $q_{см}$ и K_B

Параметры		Математические ожидания $m_{q_{см}}, m_{K_B}$	Интервалы	Интервалы с ограничениями по ОТН
$q_{см}$, т/см		374,3/316*	$28 < q_{см} < 1000$	$28 < q_{см} < 638$
K_B	$\Pi_{т асф}=300$ т/ч	0,26/0,41**	$0,06 < K_B < 0,33$	$0,06 < K_B < 0,77$
	$\Pi_{т асф}=400$ т/ч	0,19/0,29**	$0,05 < K_B < 0,26$	$0,04 < K_B < 0,59$
	$\Pi_{т асф}=700$ т/ч	0,09/0,17**	$0,03 < K_B < 0,15$	$0,03 < K_B < 0,32$

*Примечание. * – математическое ожидание $q_{см}$ с ограничениями по избыточной ОТН;
** – математические ожидания K_b с ограничениями по избыточной ОТН*

Разработанная новая методика вероятностной оценки интенсивности использования асфальтоукладчика в сменное время при укладке различных слоев АБС учитывает функционирование специализированного комплекта машин в условиях неблагоприятных природно-климатических факторов, технологические условия укладки различных слоев покрытий. Полученные значения интенсивности использования асфальтоукладчиков с различной их технической производительностью по параметру K_b могут быть использованы в нормативно-технической документации (ЕНиР) [10], в оценках и прогнозировании эксплуатационной сменной производительности сменных режимов работы асфальтоукладчиков, а также в их обоснованном выборе для состава специализированного комплекта машин.

Полученные уравнения множественной регрессии (таблица 1) можно использовать в методике расчета числа транспортных средств в транспортных операциях асфальтобетонной смеси с учетом прогнозируемых темпов укладки и теплофизической надежности доставки смеси [11].

ЛИТЕРАТУРА

1. Пермяков, В.Б. Транспортно-технологические машины и комплексы (производственная и техническая эксплуатация): Учебное пособие / В.Б. Пермяков, В.И. Иванов и др.; Под общ. Редакцией В.Б. Пермякова. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2007. – 440 с.
2. Максименко, А.Н. Эксплуатация строительных и дорожных машин: Учеб. пособие. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 400 с.
3. Пермяков, В.Б. Технологические машины и комплексы в дорожном строительстве (производственная и техническая эксплуатация): учебное пособие для вузов / В.Б. Пермяков, В.И. Иванов, С.В. Мельник и др. / под. ред. В.Б. Пермякова. – М.: «ИД «БАСТЕТ», 2014 – 752 с.
4. Аветисов, А.Г. Методы прикладной математики в инженерном деле при строительстве нефтяных и газовых скважин / А.Г. Аветисов, А.И. Булатов, С.А. Шаманов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – 239 с.
5. Потеряев, И.К. Оптимизация системы «асфальтоукладчик – транспортные средства – асфальтосмесительная установка» при строительстве асфальтобетонных покрытий: диссертация ... кандидата наук: 05.05.04 / Потеряев Илья Константинович. – Омск, 2013. – 195 с.
6. Иванов, В.И. Оценка эксплуатационной сменной производительности асфальтоукладчиков / В.И. Иванов, И.К. Потеряев // Строительные и дорожные машины. – М, 2011. №9. – С. 32 – 34.
7. Верескун, В.Д. Развитие теоретических основ организационно-технологической надежности и повышения эффективности функционирования производственных объектов железнодорожного транспорта: дис. ... докт. техн. наук: 05.02.22 / Верескун Владимир Дмитриевич. – Москва, 2010. – 375 с.
8. Гусаков, А.А. Организационно-технологическая надежность строительного производства. – М.: Стройиздат, 1974.
9. Кузнецов, С.М. Организационно-технологическая надежность строительных процессов / Известия вузов. Строительство. - 2008. - №6. – С. 57-65.
10. Зубков, А.Ф. Технология устройства покрытий нежесткого типа из асфальтобетонных горячих смесей: учеб. пособие / А.Ф. Зубков, К.А. Андрианов, Т.И. Любимова. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 80 с.
11. Stroup-Gardiner M., Brown E.R. Segregation in Hot-Mix Asphalt Pavements // National Cooperative Highway Research Program Report 441. Transportation Research Board, National Research Council. – Washington, D.C., 2000. – 96 p.

Poteryaev Ilya Konstantinovich

Siberian State Automobile and Highway Academy, Russia, Omsk
E-mail: poteryaev_ik@mail.ru

Sukovin Mikhail Vladimirovich

Siberian State Automobile and Highway Academy, Russia, Omsk
E-mail: sukovin8@gmail.ru

Aleshkov Denis Sergeevich

Siberian State Automobile and Highway Academy, Russia, Omsk
E-mail: denisaleshkov@mail.ru

Methods of probabilistic estimation of the intensity of use of road construction machines - asphalt paver - to change time

Abstract. The article presents the multiple regression equation of the pace of construction of asphalt concrete pavement in climatic conditions - mountainous, sharply continental climate and hilly steeply sloping terrain, continental climate. The equations obtained on the basis of statistical studies conducted in the Altai Republic for laying the lower and upper layers of the base and the top layer of asphalt mix in the summer and autumn months. The article describes the method of probabilistic estimation of intensity of use of the paver in the replacement time for laying the different layers of asphalt mix. The presented method allows for the operation of a specialized set of machines under adverse climatic factors, as well as the technological conditions of laying different layers of coatings. Showing estimates and actual use depending on factors pavers of various technical performance of the volumes of laying asphalt mix per shift. Graphic-analytical method for determining the probability to determine the expectations of the coefficients use of road construction machines - Asphalt - with the imposition of restrictions on the organizational and technological reliability of the functioning of a specialized set of machines. We obtain the probability function of random coefficient values use pavers with different technical performance considering imposing excessive restrictions on the organizational and technological reliability.

Keywords: asphalt paver; asphalt coating; asphalt mixture; a specialized set of machines; the pace of construction; performance; organizational and technological reliability

REFERENCES

1. Permyakov, V.B. Transportno-tehnologicheskie mashiny i komplekсы (proizvodstvennaya i tekhnicheskaya ekspluatatsiya): Uchebnoe posobie / V.B. Permyakov, V.I. Ivanov i dr.; Pod obshch. Redaktsiyey V.B. Permyakova. – Omsk: Izd-vo SibADI, 2007. – 440 s.
2. Maksimenko, A.N. Ekspluatatsiya stroitel'nykh i dorozhnykh mashin: Ucheb. posobie. – SPb.: BKhV-Peterburg, 2006. – 400 s.
3. Permyakov, V.B. Tekhnologicheskie mashiny i komplekсы v dorozhnom stroitel'stve (proizvodstvennaya i tekhnicheskaya ekspluatatsiya): uchebnoe posobie dlya vuzov / V.B. Permyakov, V.I. Ivanov, S.V. Mel'nik i dr. / pod. red. V.B. Permyakova. – M.: «ID «BASTET», 2014 – 752 s.
4. Avetisov, A.G. Metody prikladnoy matematiki v inzhenernom dele pri stroitel'stve neftyanykh i gazovykh skvazhin / A.G. Avetisov, A.I. Bulatov, S.A. Shamanov. – M.: ООО «Nedra-Biznestsentr», 2003. – 239 s.
5. Poteryaev, I.K. Optimizatsiya sistemy «asfal'toukladchik – transportnye sredstva – asfal'tosmesitel'naya ustanovka» pri stroitel'stve asfal'tobetonnnykh pokrytiy: dissertatsiya ... kandidata nauk: 05.05.04 / Poteryaev Il'ya Konstantinovich. – Omsk, 2013. – 195 s.
6. Ivanov, V.I. Otsenka ekspluatatsionnoy smennoy proizvoditel'nosti asfal'toukladchikov / V.I. Ivanov, I.K. Poteryaev // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. – M., 2011. №9. – S. 32 – 34.
7. Vereskun, V.D. Razvitie teoreticheskikh osnov organizatsionno-tehnologicheskoy nadezhnosti i povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya proizvodstvennykh ob"ektov zheleznodorozhnogo transporta: dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.02.22 / Vereskun Vladimir Dmitrievich. – Moskva, 2010. – 375 s.
8. Gusakov, A.A. Organizatsionno-tehnologicheskaya nadezhnost' stroitel'nogo proizvodstva. – M.: Stroyizdat, 1974.
9. Kuznetsov, S.M. Organizatsionno-tehnologicheskaya nadezhnost' stroitel'nykh protsessov / Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. - 2008. - №6. – S. 57-65.
10. Zubkov, A.F. Tekhnologiya ustroystva pokrytiy nezhestkogo tipa iz asfal'tobetonnnykh goryachikh smesey: ucheb. posobie / A.F. Zubkov, K.A. Andrianov, T.I. Lyubimova. – Tambov: Izd-vo Tamb. gos. tekhn. un-ta, 2009. – 80 s.
11. Stroup-Gardiner M., Brown E.R. Segregation in Hot-Mix Asphalt Pavements // National Cooperative Highway Research Program Report 441. Transportation Research Board, National Research Council. – Washington, D.C., 2000. – 96 p.