

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 625.08 (043)

КУТУЗОВ  
Виктор Владимирович

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ И  
ДОРОЖНЫХ МАШИН С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ  
ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.05.04 – «Дорожные, строительные и подъемно-  
транспортные машины»

Минск, 2011

Работа выполнена в Государственном учреждении высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет».

**Научный руководитель – Максименко Алексей Никифорович,**  
кандидат технических наук, доцент,  
профессор кафедры «Строительные,  
дорожные и подъемно-транспортные  
машины и оборудование», Государственное  
учреждение высшего профессионального  
образования «Белорусско-Российский  
университет».

**Официальные оппоненты: Довгяло Владимир Александрович,**  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Детали машин,  
путевые и строительные машины»  
Учреждение образования «Белорусский  
государственный университет транспорта»;

**Рынкевич Сергей Анатольевич,**  
кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры «Автомобили»,  
Государственное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет».

**Оппонирующая  
организация –** Республиканское унитарное предприятие  
«Белорусский научно-исследовательский  
институт транспорта «Транстехника».

Защита состоится «24» ноября 2011 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.12 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, корп. 1, а. 202, тел. (8-017) 267-98-93, телефон ученого секретаря совета: +37529 279 32 52.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «12» октября 2011 г.

Ученый секретарь совета по  
защите диссертаций, кандидат  
технических наук, доцент

А. Н. Смоляк

## ВВЕДЕНИЕ

С ростом объемов строительных и дорожных работ актуальной становится проблема обеспечения безотказной работы техники на строительной площадке. Данная проблема решается в разрезе технической эксплуатации строительных и дорожных машин (СДМ). Повышать эффективность работы СДМ необходимо с учетом индивидуальных показателей по каждой машине (процесса старения, сезонных условий эксплуатации, показателей надежности и т. д.) и внедрения новых методов планирования и организации технической эксплуатации.

Анализ затрат на поддержание и восстановление работоспособности СДМ показывает, что они в 6–10 раз превышают стоимость новой машины, а трудоемкость изготовления СДМ составляет только 4–5 % от общей трудоемкости на технические обслуживания и все виды ремонтов за срок их службы. С увеличением наработки с начала эксплуатации производительность, коэффициент технического использования и коэффициент внутрисменного режима работы значительно снижаются при повышении эксплуатационных затрат. Так, эксплуатационная производительность снижается до 50 %, а себестоимость машиночаса повышается на 40–70 % на этапе эксплуатации жизненного цикла машины.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### *Связь работы с крупными научными программами и темами.*

Работа выполнялась в рамках приоритетных направлений научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2006–2010 годы (п.1 Ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии производства конкурентоспособной продукции); Государственной программы «Дороги Беларуси» на 2006–2015 годы, утвержденной Министерством транспорта и коммуникаций Республики Беларусь; НИР ХД – 0724 «Повышение эффективности планирования и организации эксплуатации строительных и дорожных машин» (№ гос. рег. 20072615, Белорусско-Российский университет, 13.10.2008); НИР ХД – 0845 «Совершенствование технического обслуживания и ремонта дорожно-строительных машин с учетом целесообразности их эксплуатации на любом этапе наработки с начала эксплуатации на базе ОАО ДСТ №3» (Могилев, Белорусско-Российский университет, Минск, БелдорНИИ, 2008 год); НИР ХД – 1638/08 «Разработка методологии выбора перспективной дорожной техники» (Минск, БНТУ, 2008 год); НИР ХД – 9315 «Разработка механизма эффективной эксплуатации и поэтапного обновления парка машин Строительно-монтажного треста № 30 (СМТ № 30)» (Минск, БНТУ, 2008 год); Гранта ГБ-101ф «Поддержание и восстановление работоспособности строительных и дорожных машин с учетом их наработки с начала эксплуатации», (№ гос. рег. 20100278, Белорусско-Российский университет, 12.03.2010).

### ***Цель и задачи исследования.***

Целью диссертационной работы является повышение эффективности технической эксплуатации СДМ за счет обеспечения их безотказной работы на строительной площадке, повышения производительности, снижения простоев в технических обслуживаниях (ТО) и ремонтах на основе разработанных методик и алгоритмов планирования и организации поддержания и восстановления работоспособности СДМ путем индивидуального учета технического состояния и изменения технико-экономических показателей на этапе эксплуатации их жизненного цикла.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие **задачи**:

1) разработать стратегию повышения работоспособности СДМ с учетом диагностического обеспечения и нормативно-технической документации на предприятии, а также изменений технико-экономических показателей на этапе эксплуатации жизненного цикла машины;

2) провести анализ исходных данных учета эксплуатации СДМ для формализации и автоматизации планирования поддержания и восстановления работоспособности СДМ, а также оценки эффективности их использования на любом этапе наработки с начала эксплуатации;

3) определить количественные зависимости изменения коэффициента внутрисменного режима работы СДМ от их наработки с начала эксплуатации;

4) разработать метод определения планируемой годовой наработки СДМ с учетом изменений коэффициента внутрисменного режима работы и коэффициента технического использования от их наработки с начала эксплуатации;

5) разработать методику и алгоритм поддержания работоспособности СДМ путем проведения диагностирования и планирования постановки машины в ремонт на основе изменения текущих значений контролируемых параметров от ее наработки с начала эксплуатации;

6) разработать методику технико-экономической оценки работы СДМ, определения наработки окупаемости и прибыльной эксплуатации, а также определения целесообразности ремонта или списания машины.

Объектом исследования являются СДМ с их выходными параметрами на этапе эксплуатации жизненного цикла. Предметом исследования являются изменения выходных параметров и технико-экономические показатели СДМ в зависимости от их наработки, внутрисменного режима работ и комплексного показателя надежности.

### ***Положения, выносимые на защиту.***

На защиту выносятся полученные научные результаты:

1) стратегия повышения работоспособности СДМ, отличающаяся тем, что оценка, поддержание и восстановление технического состояния машины производится с учетом наличия диагностического обеспечения и нормативно-

технической документации на предприятии, а также изменений технико-экономических показателей на этапе эксплуатации ее жизненного цикла;

2) установленные зависимости изменения коэффициента внутрисменного режима работы СДМ от их наработки с начала эксплуатации;

3) метод определения планируемой годовой наработки СДМ и продолжительности нахождения их в ТО и ремонтах с учетом изменений внутрисменного режима работы и коэффициента технического использования от наработки с начала эксплуатации;

4) методика и алгоритм поддержания и восстановления работоспособности СДМ путем проведения диагностирования и планирования постановки машин в ремонт на основе изменений текущих значений контролируемых параметров;

5) методика технико-экономической оценки работы СДМ, позволяющая определять наработки: окупаемости, прибыльной эксплуатации, проведения ремонта и (или) списания машины.

#### ***Личный вклад соискателя.***

Автором самостоятельно получены основные результаты диссертационной работы. Опубликовано 58 научных работ, из которых 9 без соавторства. При написании статей автор принимал участие в составлении плана текста статей, докладов и их написании. В публикациях с соавторами вклад соискателя определялся рамками излагаемых в диссертационной работе результатов. Совместно с научным руководителем канд. техн. наук, доц. А. Н. Максименко разработаны общая научная концепция исследований диссертационной работы; общая модель поддержания и восстановления работоспособности СДМ по текущим значениям контролируемых параметров; общая технико-экономическая модель оценки эффективности работы СДМ; алгоритмы и методики по поддержанию и восстановлению работоспособности СДМ на основании их технического состояния, а также алгоритмы определения годовой наработки, составления годового плана и месячных планов-графиков обслуживаний и ремонтов СДМ; метод определения планируемой годовой наработки машин с учетом их наработки с начала эксплуатации и режима работы; методика технико-экономической оценки работы СДМ, позволяющая определять наработку окупаемости и прибыльной эксплуатации, а также определять целесообразности ремонта или списания СДМ.

Приведенные в диссертационной работе результаты были получены соискателем самостоятельно, т.е. определены изменения коэффициента внутрисменного использования СДМ и коэффициента перехода рабочего времени к часам наработки в моточасах; выявлены изменения значений трудоемкости ремонтов в зависимости от наработки машины с начала эксплуатации; произведена формализация исходных данных, необходимых для учета, контроля и планирования работы СДМ с использованием информационных технологий (ИТ); на

примере погрузчиков грузоподъемностью 3 и 4 тонны выполнен анализ их показателей надежности, выбраны диагностические параметры и диагностическое оборудование для их оценки; выполнены экспериментальные исследования по оценке изменения коэффициента внутрисменного режима работы в зависимости от наработки с начала эксплуатации; на примере погрузчика «Амкодор 332» установлены наработки окупаемости, получения максимальной прибыли, проведения ремонтов и списания; на основании разработанных математических моделей и алгоритмов, представленных в диссертации, составлены соответствующие программные продукты, позволяющие оценить их работоспособность; выработаны практические рекомендации по повышению эффективности поддержания и восстановления работоспособности СДМ.

#### ***Апробация результатов диссертации.***

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на научно-технических конференциях (НТК): республиканских НТК «42 студенческая НТК» (Могилев, 2006); «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (Могилев, 2006–2009); «Развитие приграничных регионов Беларуси и России на современном этапе: проблемы и перспективы» (Могилев, 2006); международных НТК «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (Могилев, 2005–2010); «ИНТЕРСТРОЙМЕХ» (Москва, 2006; Самара, 2007; Владимир, 2008; Бишкек, 2009; Белгород, 2010); «Проблемы эксплуатации систем транспорта» (Тюмень, 2007). Результаты исследований обсуждались на научно-техническом совете (протокол № 1 от 28.09.2010), заседании кафедры «Строительные, дорожные, подъемно-транспортные, машины и оборудование» (протокол № 3 от 26.10.2010) и научном семинаре автомеханического факультета (протокол № 19 от 23.12.2010) Белорусско-Российского университета.

#### ***Опубликованность результатов диссертации.***

По теме диссертации опубликовано 58 научных работ, из них 33 статьи в изданиях, включенных в перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований общим объемом 4,4 авторских листов (из них 15 статей в журналах Российской Федерации), 23 тезиса докладов в материалах конференций, один патент Республики Беларусь на изобретение.

#### ***Структура и объем диссертации.***

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, 4 глав, заключения, библиографического списка и приложений. Работа представлена на 95 страницах (не учитывая 17 иллюстраций на 11,5 страницах, 10 таблиц на 7,5 страницах, 376 библиографических источников на 30 страницах, 16 приложений на 85 страницах).

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

*Во введении* обосновывается важность и актуальность темы исследования, приводится краткая характеристика исследуемых вопросов и предлагаемых подходов к их решению, показана практическая ценность работы.

*В первой главе* представлен обзор и анализ работ, посвященных вопросам повышения эффективности технической эксплуатации СДМ. Проведенный анализ литературных источников позволил выявить 3 этапа становления уровня технической эксплуатации СДМ. Первый этап – период становления и развития системы планово-предупредительных ТО и ремонтов (ППР). Второй – начало использования диагностирования для оценки технического состояния машин. Третий – переход к обеспечению индивидуального подхода к поддержанию и восстановлению работоспособности СДМ с применением диагностики и ИТ. Из основных направлений совершенствования технической эксплуатации, в рамках данных этапов, выделены: совершенствование методов ТО и ремонтов, определение их оптимальных режимов, повышение точности планирования и организации поддержания и восстановления работоспособности СДМ. Основные задачи этих направлений и работ – обеспечение безотказной работы машины на объекте, снижение времени простоев и трудоемкости ТО и ремонтов.

Вопросами повышения уровня технической эксплуатации занимались М. М. Болбас, А. В. Вавилов, Д. П. Великанов, В. М. Власов, Д. П. Волков, П. Н. Волков, Н. Г. Гаркави, Н. Г. Домбровский, В. А. Зорин, Б. Г. Ким, Б. С. Клейнер, Г. В. Крамаренко, Р. В. Кугель, Е. М. Кудрявцев, Е. С. Кузнецов, Е. С. Локшин, И. А. Луйк, А. Н. Максименко, В. С. Малкин, В. М. Михлин, А. Н. Островцев, С. К. Полянский, С. Е. Ровках, С. В. Репин, В. К. Руднев, И. А. Ушаков, Б. Ф. Хазов, А. М. Харазов, А. М. Шейнин и многие другие. Из иностранных авторов можно выделить В. S. Dhillon, Heinz P. Bloch, Fred K. Geitner, Bruce Hawkins, Timothy C. Kister, Wallace R. Blischke, D. N. Prabhakar Murthy, Lindley Higgins, Keith Mobley, Anthony Kelly и многих других.

Проведенный анализ показал необходимость использования комплексного подхода к существующим методам обеспечения безотказной работы СДМ на объекте. Так, с точки зрения затрат на поддержание и восстановление работоспособности СДМ наиболее целесообразным является применение статистико-вероятностных методов до наработки 0,5 ресурса, когда вероятность безотказной работы элементов машины соответствует 0,97 (правило 2-х сигм). После этого значения наработки целесообразно применять методы, основанные на индивидуальном учете технического состояния СДМ и показателях их работы.

*Во второй главе* представлена стратегия повышения эффективности технической эксплуатации СДМ, особенность которой заключается в объединении предлагаемой системы, основанной на индивидуальном подходе к планированию и организации эксплуатации СДМ и существующих систем поддержания и

восстановления работоспособности машин.

Структурная схема управления работоспособностью СДМ, объединяющая данные подсистемы, представлена на рисунке 1.

**Первая подсистема (ПС1)** – это реализация системы ППР. **Вторая подсистема (ПС2)** строится на реализации ППР с учетом наличия нормативной и технической баз по диагностированию, когда проведение ТО и ремонтов осуществляется с периодичностью, установленной заводом-изготовителем, а расход материалов, запасных частей, сборочных единиц (СЕ) и необходимая трудоемкость для восстановления работоспособности машины регламентируются ее техническим состоянием по результатам диагностики. **Третья подсистема (ПС3)** основывается на типовых технологических процессах ежесменного, первого, второго, третьего и сезонного ТО. **Четвертая подсистема (ПС4)**, предлагаемая, основана на индивидуальном подходе к планированию и организации эксплуатации СДМ. Особенность ее заключается в широком применении диагностики и ИТ для оценки технического состояния и прогнозирования постановки машины в ремонт по фактическим значениям контролируемых параметров.



**Рисунок 1 – Структурная схема управления работоспособностью СДМ**

В основе всех четырех подсистем лежит учет фактических данных по СДМ. Для автоматизации такого учета была произведена формализация исходных данных по надежности, технико-экономическим показателям и данным о работе машины и предложена новая форма учета работы СДМ. В ней основу составляет первичная информация трех отделов: «механизации и энергетики», «производственный» и «планово-экономический». В качестве основных отчетных промежутков времени используются месяц, квартал и год. В карточку заносится и информация о нахождении машины в хозяйстве и в работе; об использовании в наряде в часах, работе в

машиночасам и наработка по данным счетчика моточасов; по простоям машины в ТО, ремонтах, и прочим причинам; по трудоемкости проводимых ТО и ремонтов; расходу топливно-смазочных материалов; информации об объемах выполняемых работ, их стоимости и затратам на содержание техники. Налаженный учет первичной информации по работе СДМ согласно предложенной форме является основной составляющей для планирования и организации их эксплуатации.

Анализ работы СДМ в филиалах ОАО ДСТ № 3 (г. Могилев) и других организациях департамента «Белавтодор», а также хронометраж работы машин позволили выявить изменения большинства технико-экономических показателей работы машин в зависимости от наработки с начала эксплуатации. Анализ эксплуатации СДМ показал, что время использования их по целевому назначению изменяется от 30 до 80 % продолжительности смены. Такие изменения в расчетах учитываются через коэффициент внутрисменного режима работы ( $K_B$ ), для определения которого в процессе эксплуатации СДМ предложена формула:

$$K_B = K_{\Pi} \cdot K_{\Pi}^x, \quad (1)$$

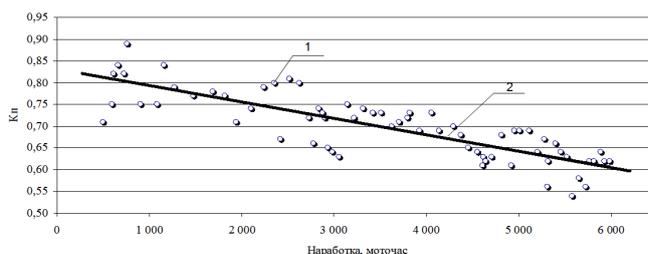
где  $K_{\Pi}$  – коэффициент перехода от продолжительности смены в машиночасах к наработке двигателя в моточасах, моточас/машиночас;  $K_{\Pi}^x$  – коэффициент, учитывающий потери полезного времени из-за работы двигателя на холостых оборотах, машиночас/моточас.

При выключении двигателя во время всех перерывов в работе машины  $K_{\Pi}^x = 1$ , то есть  $K_B = K_{\Pi}$ . Практически, в процессе эксплуатации СДМ,  $K_B < K_{\Pi}$  при одинаковом качественном их изменении в зависимости от наработки. Проведенные исследования показывают отличие значений  $K_B$  от  $K_{\Pi}$  в пределах 0–15 %, что дает возможность в расчетах использовать значения  $K_{\Pi}$  вместо  $K_B$ , определяя их упрощенными методами, например, по данным карточек учета работы СДМ.

Для целей планирования работы СДМ на длительный промежуток времени, а также оценки их эксплуатации были **проведены экспериментальные исследования** оценки изменения коэффициента внутрисменного режима работы в зависимости от наработки с начала эксплуатации.

На основании статистической информации, данных счетчиков моточасов и проводимого хронометража, используя корреляционно-регрессионный анализ, такая взаимосвязь была установлена с достаточной точностью (величина коэффициента корреляции  $R = 0,81$ ) и описывалась линейным уравнением. Зависимость  $K_{\Pi}$  как от наработки на примере погрузчика грузоподъемностью 3 т представлена на рисунке 2. Данная зависимость описывается уравнением:

$$K_{\Pi} = 0,82 - 3,7 \cdot 10^{-5} N. \quad (2)$$



1 - фактические значения; 2 - аппроксимация

**Рисунок 2 – Влияние наработки на  $K_{\Pi}$**

Аналогично установлены зависимости изменения  $K_{\Pi}$  от наработки по

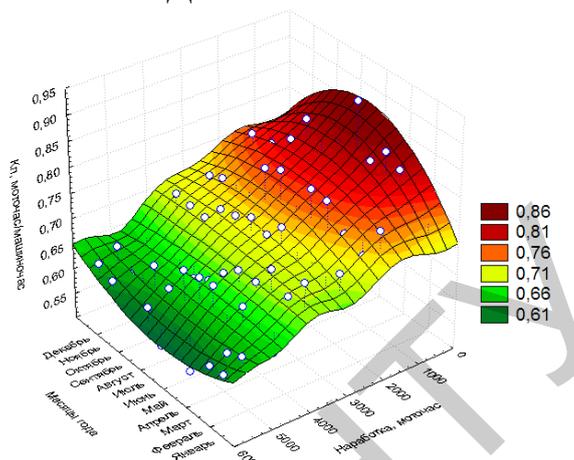
большинству СДМ, эксплуатируемых в филиалах ОАО ДСТ № 3.

Для целей краткосрочного планирования, а также более точной оценки коэффициентов  $K_B$  и  $K_{II}$ , снижения трудоемкости их определения совместно с фирмой ОДО СТРИМ (г. Могилев) был разработан прибор, предназначенный для определения наработки, времени нахождения СДМ в работе, работе под нагрузкой, коэффициентов  $K_{II}$  и  $K_B$ , а также информирования оператора о необходимости проведения планового ТО или ремонта.

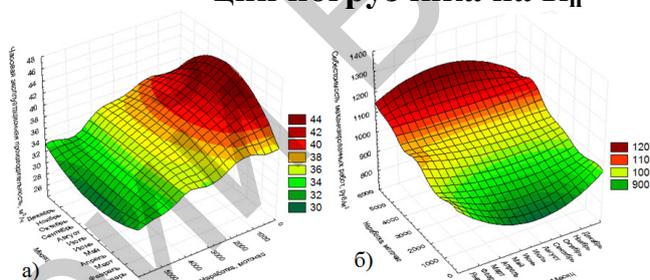
Индивидуальный подход к оценке работоспособности машины позволяет повысить эффективность ее использования. Проведенные исследования выявили изменения  $K_{II}$  в зависимости от сезона и наработки с начала эксплуатации. Для подконтрольного погрузчика она отражена на рисунке 3, что в свою очередь позволило определить динамику изменения часовой эксплуатационной производительности и себестоимости механизированных работ от данных факторов (рисунок 4).

Изменение часовой эксплуатационной производительности и себестоимости механизированных работ в зависимости от коэффициента внутрисменного режима работы и наработки с начала эксплуатации представлено на рисунке 5.

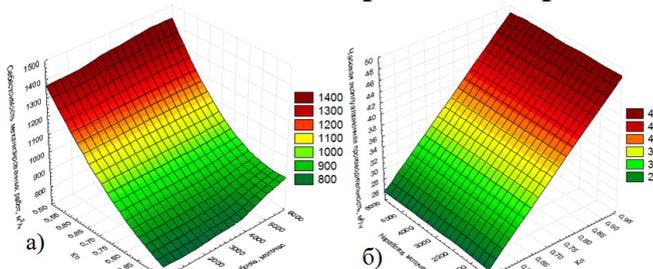
Изменения внутрисменного режима работы от наработки с начала эксплуатации оказывают влияние на технико-экономические показатели СДМ (планируемую годовую наработку, эксплуатационную производительность, себестоимость механизированных работ и др.), поэтому при индивидуальном подходе к работе машины парка их необходимо учитывать.



**Рисунок 3 – Влияние сезона и наработки с начала эксплуатации погрузчика на  $K_{II}$**



**Рисунок 4 – Влияние сезона эксплуатации и наработки с начала использования погрузчика на часовую эксплуатационную производительность (а), себестоимости механизированных работ (б)**



**Рисунок 5 – Изменение себестоимости механизированных работ (а) и часовой эксплуатационной производительности (б) в зависимости от коэффициента внутрисменного режима работы и наработки с начала эксплуатации**

Обеспечение безотказной работы СДМ требует от эксплуатирующих организаций заранее планировать необходимую потребность в материально-технических и трудовых ресурсах и обеспечивать высокую точность при составлении годовых планов и планов-графиков на месяц проведения ТО и ремонтов. В качестве одного из основных значений исходных данных для расчетов используется планируемая годовая наработка машины ( $N_{пл}$ ). Для точного ее расчета разработан **метод определения планируемой годовой наработки**, отличающийся тем, что учитывает процесс старения техники через комплексный показатель надежности – коэффициент технического использования; изменение внутрисменного режима работы через коэффициент сменности и коэффициент внутрисменного режима работы. Особенность разработанного метода заключается также в учете изменений продолжительности простоев машины в ТО и ремонтах ( $D_{рем}$ ) в зависимости от внутрисменного режима работы и наработки с начала эксплуатации:

$$D_{рем} = (D_k - D_{п}) \cdot (1 - K_{ти}) \cdot K_{п}, \text{ сут.}, \quad (3)$$

где  $D_k$  – общее количество суток в году, сут.;  $D_{п}$  – продолжительность всех перерывов в работе за исключением простоев в ТО и ремонтах, сут.;  $K_{ти}$  – коэффициент технического использования.

Планируемая годовая наработка с учетом процесса старения, сезонности работ, времени простоя машины в ремонтах и нахождении машины в капитальном ремонте (КР) будет определяться по формуле

$$N_{пл} = T_{ч} \cdot K_{п} = [(D_k - D_{п})(1 - (1 - K_{ти})K_{п}) - D_{кр}] \Gamma_{см} \cdot K_{см} \cdot K_{п}, \text{ моточас}, \quad (4)$$

где  $T_{ч}$  – время работы машины в течение года, машиночас;  $T_{см}$  – продолжительность смены, ч;  $D_{кр}$  – продолжительность простоя машины в капитальном ремонте (включается только в год его проведения), сут;  $K_{см}$  – коэффициент сменности.

Предложенная методика определения  $N_{пл}$  применима для всех 4-х подсистем, небольшое отличие только для ПС4, где значение  $D_{рем}$  определяется на основании остаточного ресурса СЕ и машины в целом.  $N_{пл}$ , определяемая по предложенной методике, имеет высокую сходимость с фактическими значениями (ошибка не превышает 8 %). Для автоматического расчета  $N_{пл}$  с использованием ИТ, построения годового плана и планов-графиков на месяц проведения ТО и ремонтов, разработаны соответствующие алгоритмы, реализованные в разработанном программном продукте PlanGraph.

После определения  $D_{рем}$ ,  $T_{ч}$ ,  $N_{пл}$ , и других показателей, важность приобретает определение трудоемкости мероприятий, направленных на поддержание и восстановление работоспособности СДМ, анализ изменения которой, позволил выявить ее изменения от наработки с начала эксплуатации от 28 до 67 %.

С учетом таких изменений предложен способ определения планируемой годовой трудоемкости ( $Tr_{тор}^r$ ) ТО и ремонтов для одной машины с учетом процесса старения по формуле

$$Tr_{\text{тор}}^{\text{г}} = K_{\text{кр}} \cdot Tr_{\text{кр}} + (K_{\text{тр}} \cdot Tr_{\text{тр}}^{\text{ср}} + K_{\text{то-2}} \cdot Tr_{\text{то-2}}^{\text{ср}} + K_{\text{то-1}} \cdot Tr_{\text{то-1}}^{\text{ср}} + 2 \cdot Tr_{\text{со}}) \cdot k_{\text{рем}}, \text{ чел.-ч}, \quad (5)$$

где  $Tr_{\text{тр}}^{\text{ср}}$ ,  $Tr_{\text{со}}$ ,  $Tr_{\text{то-2}}^{\text{ср}}$ ,  $Tr_{\text{то-1}}^{\text{ср}}$  – соответственно среднее значение трудоемкости ТР, сезонных обслуживаний, ТО-2 и ТО-1 по предприятию (при их отсутствии принимается нормативная трудоемкость по рекомендациям [58]), чел.-ч;  $Tr_{\text{кр}}$  – трудоемкость КР, чел.-ч.;  $K_{\text{кр}}$ ,  $K_{\text{тр}}$ ,  $K_{\text{то-2}}$ ,  $K_{\text{то-1}}$  – соответственно количество КР, ТР, ТО-2 и ТО-1.  $k_{\text{рем}}$  – коэффициент, учитывающий продолжительность простоя машины в ТО и ремонтах с увеличением наработки ее с начала эксплуатации, определяемый по формуле

$$k_{\text{рем}} = \frac{D_{\text{рем}}}{D_{\text{рем.ср}}}, \quad (6)$$

где  $D_{\text{рем.ср}}$  – среднее значение рабочих суток нахождения машины в ТО и ремонтах по годам за межремонтный цикл, сут.

Для оценки эффективности поддержания и восстановления работоспособности СДМ определяется удельная трудоемкость на моточас ( $Tr_{\text{тор}}^{\text{мч}}$ ) и машиночас ( $Tr_{\text{тор}}^{\text{мч}}$ ) по формулам:

$$Tr_{\text{тор}}^{\text{мч}} = \frac{Tr_{\text{тор}}^{\text{г}}}{N_{\text{пл}}}, \text{ чел.-ч/моточас}, \quad (7)$$

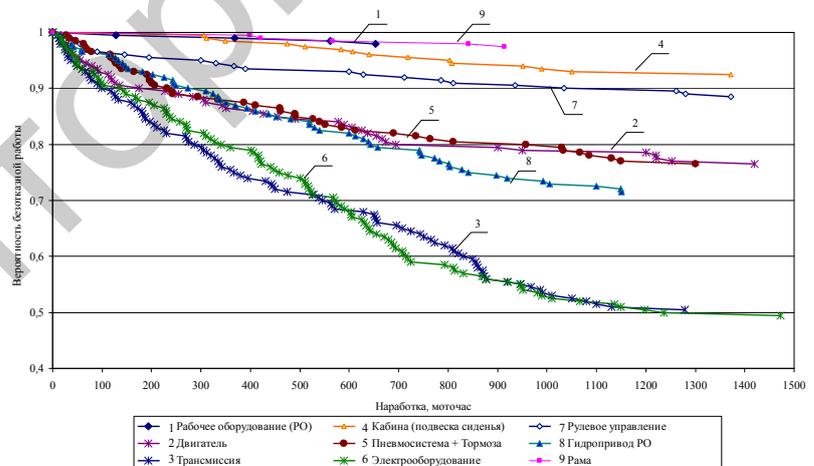
$$Tr_{\text{тор}}^{\text{мч}} = \frac{Tr_{\text{тор}}^{\text{г}}}{T_{\text{ч}}} = Tr_{\text{тор}}^{\text{мч}} \cdot K_{\text{п}}, \text{ чел.-ч/машиночас}. \quad (8)$$

Такое планирование и фактический учет трудоемкости позволяют оценивать возможности ремонтной базы и более эффективно организовывать работу СДМ.

**В третьей главе** представлена методика оценки работоспособности СДМ с учетом диагностирования СЕ, систем, агрегатов и машины в целом. Реализация методики представлена на примере погрузчиков на пневмоколесном ходу грузоподъемностью 3 т («Амкодор 332» (ТО-18)) и 4 т («Амкодор 342» (ТО-28)).

Показатели надежности определялись в соответствии с ГОСТ 27.002-89 на основе анализа 200 погрузчиков «Амкодор 332» и 60 погрузчиков «Амкодор 342», эксплуатирующихся в организациях Могилевской области. Так, из общего количества подконтрольных погрузчиков «Амкодор 332» к наработке 1000 моточасов вероятность безотказной работы  $P_{1000}$ , для основных СЕ, составляла от 0,98 до 0,53 (рисунок 6).

Значения параметра потока отказов незначительно уменьшаются в период обкатки с последующим ростом. По подконтрольным погрузчикам продолжительность восстановления составляла 1,2 суток в гарантийный период эксплуа-



**Рисунок 6 – Зависимость вероятности безотказной работы погрузчика «Амкодор 332» от наработки с начала эксплуатации**

тации, а после его окончания она увеличивалась в 3–5 раз и исчислялась в отдельных случаях месяцами при отказах сложных СЕ. Исключить такие продолжительные простои возможно при агрегатном методе ремонта с наличием новых или отремонтированных СЕ и агрегатов. Для подконтрольных погрузчиков в качестве основных СЕ, агрегатов и систем, лимитирующих наработку машины на отказ можно выделить гидропривод в целом, трансмиссию, электрооборудование, двигатель, системы управления и рабочее оборудование.

Исследуя параметры надежности погрузчиков на основании анализа их технического состояния, по актам рекламации, были выявлены наиболее частые отказы, произведен их анализ и выявлены их взаимосвязи на выходные и сопутствующие параметры работоспособности машины. Для поиска, локализации и прогнозирования появления конкретной неисправности были составлены структурно-следственные схемы оценки работоспособности, выбраны диагностические параметры и составлены матрицы локализации дефектов. Собранная и представленная информация, таким образом, позволяет автоматизировать процесс диагностирования с использованием ИТ и дает возможность разработки программных продуктов, позволяющих оценивать работоспособность СДМ на любом этапе их наработки с начала эксплуатации.

Переход от обеспечения работоспособности СДМ по усредненным показателям надежности к фактическому состоянию машины является основной задачей 4ПС поддержания и восстановления работоспособности машин. **В ее основе лежит определение остаточного ресурса всех элементов машины**, интенсивности их изменения и определение времени постановки машины в ремонт на основании диагностирования.

Для сокращения затрат на процесс диагностирования в предлагаемой методике диагностика СДМ производится не с самого начала эксплуатации, а через определенный период времени. Для этого определяется время начала диагностирования ( $t_{нд}$ ). При наличии информации по наработке на отказ ремонтируемых деталей и наработки до отказа не ремонтируемых деталей можно установить  $t_{нд}$ , которое будет равно минимальному значению наработки на отказ или наработки до отказа ( $t_{нд} = T_{min}$ ). При отсутствии  $T_{min}$  за основу берется значение наработки, попадающее в интервал средней наработки и удовлетворяющее правилу двух сигм ( $T_{cp} - 2\sigma$ ), когда отказ не наступит с вероятностью, равной 0,97.

Когда значение  $t_{нд}$  определено, выполняется оценка технического состояния СДМ по результатам диагностирования с определением остаточного ресурса ( $t_{ост}$ ) и интенсивности изменения контролируемых параметров СЕ машины.

Определив значения  $t_{ост}$  по всем агрегатам и СЕ, находится время постановки машины в ремонт ( $t_{рем}$ ) по их минимальному значению  $t_{ост}$ :

$$\begin{cases} t_{\text{рем се}} = t_{\text{ост се}}^{\text{min}} \\ t_{\text{рем агрегатов}} = t_{\text{ост агрегатов}}^{\text{min}} = t_{\text{рем се}}^{\text{min}} \\ t_{\text{рем машины}} = t_{\text{ост машины}}^{\text{min}} = t_{\text{рем агрегатов}}^{\text{min}} \end{cases}, \text{ моточас}, (9)$$

где  $t_{\text{рем се}}$ ,  $t_{\text{рем агрегатов}}$ ,  $t_{\text{рем машины}}$  – соответственно время ремонта СЕ, агрегата, машины, моточас;  $t_{\text{ост се}}^{\text{min}}$ ,  $t_{\text{ост агрегатов}}^{\text{min}}$ ,  $t_{\text{ост машины}}^{\text{min}}$  – соответственно минимальное значение  $t_{\text{ост}}$  СЕ, агрегата, машины, моточас;  $t_{\text{рем се}}^{\text{min}}$ ,  $t_{\text{рем агрегатов}}^{\text{min}}$  – соответственно минимальное значение времени ремонта СЕ и машины, моточас.

С учетом совмещения проводимых ТО и ремонтов с диагностикой время постановки машины в ремонт определяется на основании того, что минимальное значение  $t_{\text{ост}}$  не будет превышать периодичности ТО или ремонтов:

$$t_{\text{рем машины}} = t_{\text{ост}}^{\text{min}} < \Pi_{\text{тор}} + \delta, \text{ моточас}, (10)$$

где  $\Pi_{\text{тор}}$  – периодичность ТО или ремонтов, моточас;  $t_{\text{ост}}^{\text{min}}$  – минимальное значение остаточного ресурса, моточас;  $\delta$  – возможная погрешность, моточас.

При использовании ИТ планирование и организация восстановления работоспособности СДМ с учетом диагностирования осуществляется в соответствии с алгоритмом (рисунок 7). Согласно алгоритму в зависимости от вводимых значений контролируемых параметров определяются  $t_{\text{ост}}$ , дата проведения ремонта и вырабатываются рекомендации по времени и объему выполнения операций по ремонту в соответствии с техническим состоянием контролируемого объекта, а также планируется потребность обменного фонда для обеспечения агрегатного метода ремонта.

В четвертой главе представлена методика индивидуального подхода к технико-экономической оценке целесообразности использования СДМ. Оценка эффективности эксплуатации СДМ производится на основании планируемого и текущего состояний, по предложенному алгоритму (рисунок 8). Фактический расчет осуществляется на основании данных учета работы СДМ и расчета трудоемкости ТО и ремонтов, эксплуатационных затрат и прибыли с оценкой эффективности эксплуатации машины. Планирование в соответствии с алгорит-

где  $t_{\text{рем се}}$ ,  $t_{\text{рем агрегатов}}$ ,  $t_{\text{рем машины}}$  – соответственно время ремонта СЕ, агрегата, машины, моточас;  $t_{\text{ост се}}^{\text{min}}$ ,  $t_{\text{ост агрегатов}}^{\text{min}}$ ,  $t_{\text{ост машины}}^{\text{min}}$  – соответственно минимальное значение  $t_{\text{ост}}$  СЕ, агрегата, машины, моточас;  $t_{\text{рем се}}^{\text{min}}$ ,  $t_{\text{рем агрегатов}}^{\text{min}}$  – соответственно минимальное значение времени ремонта СЕ и машины, моточас.

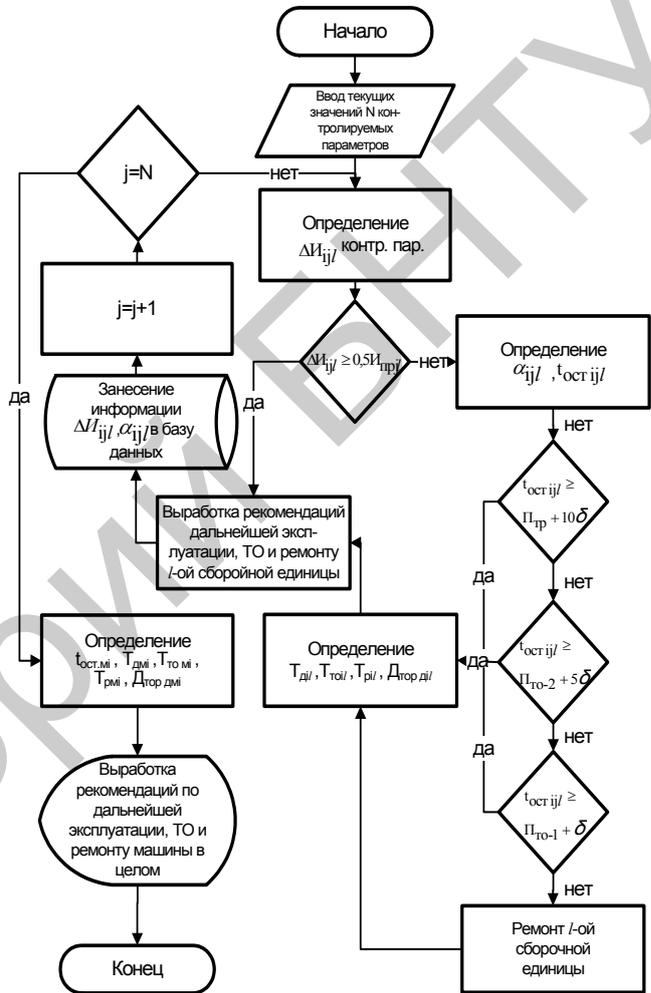
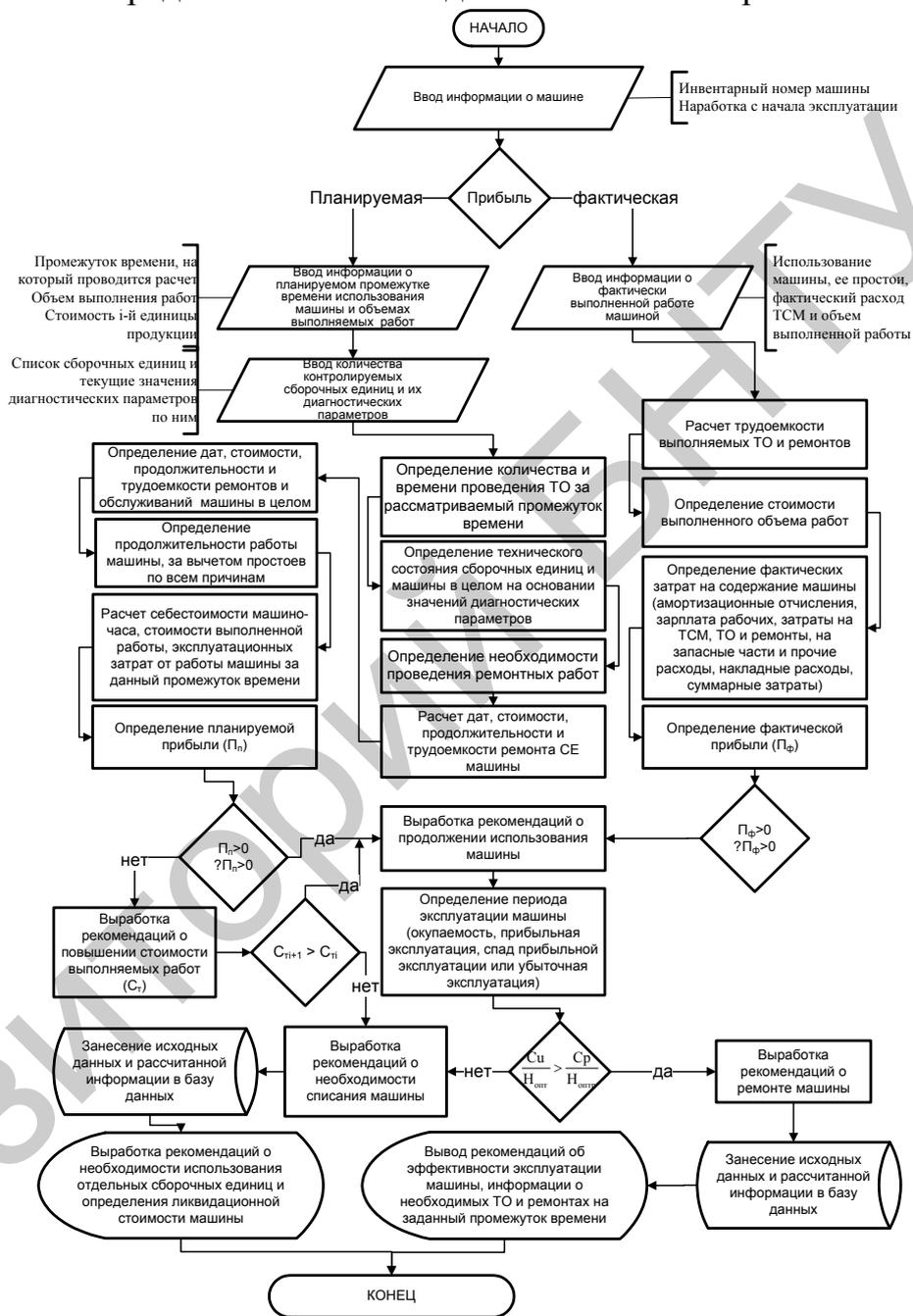


Рисунок 7 – Алгоритм восстановления работоспособности машины

мом основывается на данных учета индивидуальных показателей по машине и интенсивности их изменений (установленным технико-экономическим зависимостям). Производится определение необходимого числа ремонтно-восстановительных мероприятий на планируемый промежуток времени по машине и ее СЕ. Рассчитывается их продолжительность, трудоемкость, затраты на данные мероприятия.

Определяется продолжительность работы машины, выполняется расчет себестоимости машиночаса, стоимостей выполняемых работ, затрат на эксплуатацию, затем определяется планируемая прибыль. Полученное значение прибыли анализируется, и если оно и его приращение больше нуля, то идет выработка рекомендаций о дальнейшей эксплуатации СДМ, иначе – о необходимости повышения

стоимости выполняемых работ ( $C_T$ ). При их изменении производится сравнение прибыли с новым значением и в зависимости от результата даются рекомендации о списании или о продолжении эксплуатации машины. Следующим шагом как в планируемом расчете, так и при анализе фактических данных является **определение периода эксплуатации (окупаемость, рост прибыли, спад прибыли или убыточная эксплуатация)**. В зависимости от установленного пе-



**Рисунок 8 – Алгоритм определения эффективности эксплуатации машины, целесообразности ее использования, проведения ремонта или списания**

риода, по произведенным расчетам, выдаются соответствующие рекомендации.

В основе определения периода эксплуатации и наработок окупаемости, получения максимальной прибыли, проведения ремонта или списания используется критерий эффективности использования машины – прибыль, определяемый по формуле

$$\Pi = (C_T - C_e^{np}) \cdot H \cdot K_n^x \cdot \Pi_T \cdot K_c - C_u, \text{ р}, \quad (11)$$

где  $C_u$  – стоимость СДМ, р.;  $C_e^{np}$  – приведенная себестоимость механизированных работ, р./м<sup>3</sup> (р./м<sup>2</sup>, р./т и т. д.);  $\Pi_T$  – техническая производительность машины, м<sup>3</sup>/ч (м<sup>2</sup>/ч, т/ч и т.д.);  $K_c$  – коэффициент, учитывающий изменения  $\Pi_T$  от наработки;  $H$  – наработка с начала эксплуатации до КР, моточас.

Наработка окупаемости ( $H_{ок}$ ) определяется из условия значения прибыли, равной нулю, и ее производной более нуля по формуле

$$H_{ок} = \frac{C_u}{(C_T - C_e^{np}) \cdot \Pi_T \cdot K_c \cdot K_n^x}, \text{ моточас}. \quad (12)$$

Прибыль, получаемую после наработки окупаемости, можно определить выразив стоимость машины ( $C_u$ ) через  $H_{ок}$ , тогда выражение (12) примет вид:

$$\Pi = (C_T - C_e^{np}) \cdot \Pi_T \cdot K_c \cdot K_n^x \cdot (H - H_{ок}), \text{ р}. \quad (13)$$

Наработка получения максимальной прибыли находится решением уравнения  $d\Pi/dH = 0$  (определяется точка экстремума  $\Pi' = 0$ ).

В процессе организации эксплуатации СДМ важно увеличить наработку, при которой интенсивность роста эксплуатационных затрат на поддержание и восстановление работоспособности машины ниже интенсивности снижения стоимости полезной выполняемой работы. В этом случае  $\Pi' > 0$  и при оптимальной наработке ( $H_{опт}$ ), которая соответствует равенству  $\Pi' = 0$ , эксплуатация машины должна быть прекращена. Все дополнительные затраты, позволяющие увеличить значения  $\Pi$  и  $H_{опт}$ , оправданы, т. к. в итоге увеличивается суммарная прибыль.

Проведение КР и их количество определяется ростом суммарной прибыли, т. е.  $\Pi \rightarrow \max$ . Важно обеспечить после ремонта меньшее значение удельных затрат, что соответствует неравенству  $C_p / H_{оптр} < C_u / H_{опт}$ , где  $H_{опт}$ ,  $H_{оптр}$  – соответственно значение оптимальной наработки до и после проведения ремонта, моточас; а  $C_p$  – стоимость КР, р. Следующим этапом повышения жизненного цикла машины и прибыли, получаемой во время ее эксплуатации, согласно проведенному анализу показателей надежности СДМ, является дополнительное проведение КР гидропривода, при наработке, равной 0,5 ресурса машины, т. к. он в наибольшей степени влияет на работоспособность СДМ.

Количественные значения суммарного экономического эффекта на этапе эксплуатации жизненного цикла СДМ, а также определения наработки окупаемости, получения максимальной прибыли и наработки списания выполнены на примере погрузчика «Амкодор 332». Анализ исследований показывает, что этап эксплуатации жизненного цикла с учетом проведения КР погрузчика при наработке соответствующей получению максимальной прибыли по сравнению с

традиционным подходом уменьшается на 20%. Организация агрегатного метода ремонта гидропривода при 0,5 ресурса погрузчика и КР машины в целом при наработках, соответствующих максимальной прибыли увеличивает этап эксплуатации жизненного цикла до 23–55 % с ростом прибыли на один моточас до 65% по сравнению со вторым вариантом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Предложена стратегия поддержания и восстановления работоспособности СДМ в зависимости от диагностического обеспечения и нормативно-технической документации на предприятии. Предложенный комплексный подход объединяет предлагаемую систему, основанную на индивидуальном подходе к планированию и организации эксплуатации СДМ и существующих систем поддержания и восстановления работоспособности машин.

Разработанная подсистема поддержания и восстановления работоспособности СДМ основана на индивидуальном учете выходных параметров машины и динамики их изменений на этапе эксплуатации ее жизненного цикла. Ее реализация при эксплуатации СДМ позволяет обеспечивать безотказную работу машин на строительной площадке, повысить их производительность, а также дает возможность оценивать эффективность мероприятий по поддержанию и восстановлению работоспособности, затраты и получаемую прибыль от работы каждой конкретной машины на любом этапе наработки с начала эксплуатации [58, 2, 3, 8, 37, 28, 30, 32, 59, 60].

2. Установлено влияние наработки с начала эксплуатации и сезонных условий использования СДМ на их внутрисменный режим работы (коэффициент внутрисменной работы ( $K_v$ ) и коэффициент перехода от количества часов работы к часам наработки в моточасах ( $K_n$ )). Определено, что фактические значения могут соответствовать значениям от 0,9 до 0,3 и изменяются в зависимости от сезона и наработки с начала эксплуатации [13, 15, 19, 42, 56, 23, 24, 26, 61].

3. Разработан метод определения планируемой годовой наработки ( $H_{пл}$ ) с учетом изменений внутрисменного режима работы СДМ и коэффициента технического использования от наработки с начала эксплуатации. Особенностью разработанного метода является учет изменений продолжительности простоев машины ( $D_{рем}$ ) в ТО и ремонтах в зависимости от внутрисменного режима работы и комплексного показателя надежности (коэффициента технического использования) [58, 47, 50, 2, 36, 50, 51, 13, 15, 54, 19, 26, 60].

4. Выполнен анализ показателей надежности СДМ на примере погрузчиков «Амкодор 332» и «Амкодор 342» с выявлением систем, определяющих их работоспособность и разработкой рекомендаций по рациональной наработке замены СЕ гидропривода и выбору диагностических параметров [46, 3, 5, 9, 10, 14, 55,

22, 27, 29, 31].

5. Разработана методика и алгоритм планирования и организации поддержания и восстановления работоспособности СДМ на основе остаточного ресурса СЕ, систем и агрегатов конкретной машины по интенсивности изменения диагностических параметров [58, 45, 34, 1, 35, 49, 3, 5, 38, 40, 12, 16, 52, 53, 17, 22, 43, 25, 44, 60].

6. Разработана методика индивидуального подхода к технико-экономической оценке целесообразности использования на этапе эксплуатации жизненного цикла каждой машины с учетом ее стоимости, затрат на поддержание и восстановление работоспособности, объемов и стоимости выполненных работ, которая позволяет определять наработки окупаемости, прибыльной эксплуатации, капитального ремонта и списания. По совокупности результатов исследования для погрузчика «Амкодор 332» этап эксплуатации жизненного цикла увеличивается на 23–55 % [4, 6, 7, 8, 37, 39, 11, 41, 18, 20, 21, 24, 57, 30, 33].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Разработанная стратегия поддержания и восстановления работоспособности СДМ, метод определения планируемой годовой наработки, методика поддержания и восстановления работоспособности путем проведения диагностирования и постановки машин в ремонт на основе изменений текущих значений контролируемых параметров, методика оценки эффективности эксплуатации СДМ – могут использоваться на предприятиях эксплуатирующих дорожную и строительную технику и в учебных заведениях занимающихся подготовкой специалистов для строительной отрасли.

Результаты диссертационной работы внедрены и используются в учебном процессе ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» и в организациях Департамента «Белавтодор» Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь эксплуатирующих СДМ в Республике Беларусь. Результаты работы составляют основу разработанного дорожно-методического документа «Рекомендации по совершенствованию технического обслуживания и ремонта дорожно-строительных машин с учетом целесообразности их эксплуатации на любом этапе с начала использования», введенного в действие с 01.03.2009 в организациях Департамента «Белавтодор», осуществляющих эксплуатацию СДМ при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог.

Результаты исследований рекомендуются для внедрения на предприятиях при планировании и организации технической эксплуатации СДМ на любом этапе их использования и в учебном процессе при подготовке специалистов для строительной отрасли.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### *Статьи в журналах из перечня изданий ВАК*

1. Использование информационных технологий при планировании технической эксплуатации строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко, С. Е. Кравченко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов, Г. С. Тимофеев, В. В. Васильев // Грузовик &. – 2006. – № 5. – С. 20–22.
2. Разработка годовых планов и месячных план-графиков ТО и ремонта с использованием информационных технологий / А. Н. Максименко, С. Е. Кравченко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов, А. И. Лопатин, Г. С. Тимофеев, В. В. Васильев // Грузовик &. – 2006. – № 9. – С. 38–41.
3. Диагностирование строительных и дорожных машин с использованием информационных технологий / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, Б. М. Моргалик, В. В. Кутузов // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2006. – № 3. – С. 38–46.
4. Повышение эффективности эксплуатации техники при использовании информационных технологий / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов, А. А. Максименко // Грузовик &. – 2006. – № 12. – С. 42–43.
5. Выбор режимов тестового воздействия и прогнозирование работоспособности механических трансмиссий мобильных машин / А. Н. Максименко, Б. М. Моргалик, А. Н. Федосов, В. В. Кутузов // Механизация строительства. – 2006. – № 12. – С. 10–13.
6. **Максименко, А. Н.** Организация эксплуатации строительных и дорожных машин с учетом их технического состояния / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2006. – № 4. – С. 28–31.
7. Влияние наработки на технико-экономические показатели строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов, С. Е. Кравченко, А. И. Лопатин, Г. С. Тимофеев // Грузовик &. – 2007. – № 2. – С. 32–36.
8. Планирование строительного производства с учетом наработки применяемых машин и использованием информационных технологий / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов, С. Е. Кравченко, А. И. Лопатин, Г. С. Тимофеев // Строительная наука и техника. – 2007. – № 2. – С. 42–49.
9. Влияние качества рабочей жидкости на работоспособность гидропривода / А. Н. Максименко, Д. В. Бездников, В. В. Кутузов, В. В. Васильев, О. В. Борисенко // Грузовик &. – 2007. – № 7. – С. 26–28.
10. Повышение работоспособности гидропривода строительного-дорожных машин / А. Н. Максименко, Г. Л. Антипенко, Д. В. Бездников, В. В. Кутузов // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2007. – № 4. – С. 24–30.
11. Влияние наработки с начала эксплуатации на эффективность использования строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко, Г. С. Тимофеев, В. В. Кутузов, А. А. Максименко, А. И. Лопатин, С. Е. Кравченко // Строительная наука и техника. – 2007. – № 6. – С. 73–77.

12. Планирование и организация восстановления работоспособности строительных и дорожных машин с учетом их технического состояния / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов, Д. В. Бездников // Механизация строительства. – 2008. – № 1. – С. 9–12.

13. Определение выходных параметров сезонной техники в дорожном строительстве / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов, Г. С. Тимофеев, А. И. Лопатин, С. Е. Кравченко // Грузовик &. – 2008. – № 3. – С. 26–31.

14. **Антипенко, Г. Л.** Экспериментальные исследования импульсной системы диагностирования двигателя и трансмиссии / Г. Л. Антипенко, В. А. Судакова, В. В. Кутузов // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2008. – № 1. – С. 10–20.

15. Планирование и организация эксплуатации сезонной техники при строительстве и ремонте автомобильных дорог / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов, Г. С. Тимофеев, А. И. Лопатин, С. Е. Кравченко // Автомобильные дороги и мосты. – 2008. – № 2 – С. 89–94

16. Формирование диагностических параметров оценки работоспособности трансмиссий при проектировании машин / А. Н. Максименко, Б. М. Моргалик, А. М. Даньков, В. В. Кутузов // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2008. – № 3. – С. 6–13.

17. Повышение работоспособности гидропривода строительно-дорожных машин / А. Н. Максименко, Д. В. Бездников, В. В. Кутузов, В. В. Васильев // Грузовик &. – М.: Машиностроение. – 2008. – № 9. – С. 23–27.

18. Оценка эффективности использования машин в строительном производстве / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов, Д. В. Бездников, Г. С. Тимофеев, А. И. Лопатин // Строительная наука и техника. – 2008. – № 5(20). – С. 37–43.

19. Влияние внутрисменного режима работы и наработки с начала эксплуатации на эффективность использования строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко, В. В. Кутузов, Е. В. Кутузова, Ю. Б. Барковский, С. Е. Кравченко, Г. С. Тимофеев // Строительная наука и техника. – 2009. – № 1(22). – С. 102–106.

20. **Максименко, А. Н.** Определение целесообразности использования строительно-дорожных машин и оценка эффективности их эксплуатации / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов // Механизация строительства. – 2009. – № 3. – С. 14–20.

21. Влияние наработки с начала эксплуатации строительных и дорожных машин на показатели эффективности их использования / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов, Е. В. Кутузова, Е. В. Зезюлина // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2009. – № 2. – С. 36–43

22. Влияние качества изготовления и технической эксплуатации на работоспособность строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко, В. В. Кутузов, А. Н. Федосов, В. В. Кляусов // Строительная наука и техника. – 2009. – № 3(24). – С. 68–73.

23. Влияние наработки с начала эксплуатации на производительность СДМ и себестоимость механизированных работ / А. Н. Максименко, В. В. Кутузов, Е. В. Кутузова, Г. С. Тимофеев, А. И. Лопатин, В. В. Васильев // Строительная наука и техника. – 2009. – № 6. – С. 73–76.

24. Влияние сезона и наработки с начала эксплуатации на производительность строительных и дорожных машин и себестоимость механизированных работ / А. Н. Максименко, В. В. Кутузов, А. Н. Сидоров // Грузовик &. – 2010. № 2 – С. 16–21.

25. **Максименко, А. Н.** Реализация импульсного метода диагностирования трансмиссий СДМ / А. Н. Максименко, Б. М. Моргалик, В. В. Кутузов // Механизация строительства. – 2010. – № 3. – С. 20–23.

26. **Максименко, А. Н.** Планирование годового количества рабочего времени и годовой наработки строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко, В. В. Кутузов, А. Н. Сидоров // Автомобильные дороги и мосты. – 2010. – № 1. – С. 77–81.

27. Повышение работоспособности гидропривода строительных и дорожных машин при внедрении агрегатного метода ремонта и диагностики / А. Н. Максименко, И. В. Лесковец, В. В. Кутузов, Д. В. Бездников, Н. Н. Федосов, В. В. Сентюров // Грузовик &. – 2010. – № 4. – С. 5–11.

28. Учет и оценка эффективности использования каждой машины парка в строительстве / А. Н. Максименко, В. В. Кутузов, Г. С. Тимофеев, В. В. Васильев // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2010. – № 4. – С. 21–29.

29. Выбор параметров и оценка работоспособности гидрофицированных машин / А. Н. Максименко, В. В. Кутузов, Д. В. Бездников, А. Н. Федосов, В. В. Сентюров // Строительная наука и техника. – 2010. – № 1–2. – С. 136–141.

30. **Максименко, А. Н.** Оценка эффективности использования гидрофицированных машин на всех этапах их эксплуатации / А. Н. Максименко, В. В. Кутузов, Е. В. Кутузова // Механизация строительства. – 2010. – №10. – С. 17–19.

31. Оценка этапа эксплуатации жизненного цикла погрузчика Амкордор 332 / А. Н. Максименко, В. В. Кутузов, Д. В. Бездников, А. Н. Федосов, В. В. Сентюров, А. И. Лопатин, О. В. Борисенко // Грузовик &. – 2011. – № 3. – С. 24–27.

32. Индивидуальная оценка эффективности использования машин в дорожной отрасли / А. Н. Максименко, В. В. Кутузов, Г. С. Тимофеев, В. В. Васильев, Е. Г. Мартусевич, Л. В. Тимофеева // Автомобильные дороги и мосты. – 2011. – № 1. – С. 78–86.

33. Повышение этапа эксплуатации жизненного цикла гидрофицированных машин / А. Н. Максименко, В. В. Кутузов, Д. В. Бездников, А. Н. Федосов, В. В. Сентюров // Строительная наука и техника. – 2011. – № 4. – С. 42–45.

### *Статьи в научных сборниках*

34. **Кутузов, В. В.** Современные средства диагностики мобильных машин / В. В. Кутузов, Б. М. Моргалик // Студенческий вестник. Электронный научно-технический журнал Октябрь 2005 [Электронный ресурс] / Белорусско-Российский университет – Могилев, 2005. – Режим доступа: <http://www.bru.mogilev.by/>.

35. **Кутузов, В. В.** Диагностирование механических трансмиссий мобильных машин / В. В. Кутузов, А. Н. Максименко // Студенческий вестник. Электронный научно-технический журнал 2006 [Электронный ресурс]. / Белорусско-Российский университет – Могилев, 2006. – Режим доступа: <http://www.bru.mogilev.by/>.

36. **Максименко, А. Н.** Организация технической эксплуатации строительных и дорожных машин с использованием информационных технологий / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов // Сборник материалов международной научно-технической конференции ИНТЕРСТРОЙМЕХ 2006. – Москва: МГСУ АПК, 2006. – С. 346–348.

37. **Кутузов, В. В.** Экономия материальных ресурсов при организации эксплуатации строительно-дорожных машин / В. В. Кутузов, А. Н. Максименко // Сборник статей лауреатов и авторов научных работ, получивших первую категорию. – Минск: БГУ, – 2007. – С.87–91.

38. Планирование и организация восстановления работоспособности строительных и дорожных машин с учетом их технического состояния / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов, Д. В. Бездников // Материалы международной научно-технической конференции ИНТЕРСТРОЙМЕХ 2007. – Самара: СГАСУ, 2007. – С. 259–263.

39. Влияние наработки на технико-экономические показатели строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов, Д. В. Бездников // Материалы международной научно-технической конференции ИНТЕРСТРОЙМЕХ 2007. – Самара: СГАСУ, 2007. – С. 292–296.

40. **Максименко, А. Н.** Повышение работоспособности гидропривода технических средств / А. Н. Максименко, Д. В. Бездников, В. В. Кутузов, О. В. Борисенко // Проблемы эксплуатации систем транспорта: труды всерос. науч.-практ. конф. Сб. статей. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2007. – С. 89–94.

41. Определение целесообразности использования строительных и дорожных машин (СДМ) / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов, Д. В. Бездников // Материалы международной научно-технической конференции ИНТЕРСТРОЙМЕХ 2008. – Владимир, 2008. – С. 244–249.

42. **Максименко, А. Н.** Влияние внутрисменного режима работы и показателей надежности на годовую наработку строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко, В. В. Кутузов, Е. В. Кутузова // Материалы международной научно-технической конференции ИНТЕРСТРОЙМЕХ 2009. – Бишкек, 2009. – С. 265–268.

43. **Максименко, А. Н.** Основы реализации импульсного метода диагностирования трансмиссий строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко,

Б. М. Моргалик, В. В. Кутузов // Материалы международной научно-технической конференции ИНТЕРСТРОЙМЕХ 2009. – Бишкек, 2009. – С. 269–272.

44. **Максименко, А. Н.** Методика оценки остаточного ресурса механических трансмиссий колесных машин / А. Н. Максименко, Б. М. Моргалик, В. В. Кутузов // Материалы международной научно-технической конференции ИНТЕРСТРОЙМЕХ 2010. – Белгород, 2010. – С. 45–49.

#### *Материалы научных конференций*

45. **Моргалик, Б. М.** Методика диагностирования трансмиссий мобильных машин / Б. М. Моргалик, В. В. Кутузов // Материалы оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2005. – Ч. 1. – С. 253–254.

46. **Кутузов, В. В.** Диагностирование механических трансмиссий строительно-дорожных машин / В. В. Кутузов // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы респ. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и студентов. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т., 2006. – С. 132.

47. **Кутузов, В. В.** Организация технической эксплуатации парка машин с использованием информационных технологий / В. В. Кутузов, науч. рук. А. Н. Максименко // 42-я студенческая научно-техническая конференция: материалы конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2006. – С. 94–96.

48. **Максименко, А. Н.** Определение годовой наработки с учетом процесса старения машин / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов // Материалы оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2006. – Ч. 2. – С. 54–55.

49. **Кутузов, В. В.** Прогнозирование работоспособности механических трансмиссий мобильных машин / В. В. Кутузов // Развитие приграничных регионов Беларуси и России на современном этапе: проблемы и перспективы: материалы науч.-практ. конф. аспирантов, магистрантов и студентов приграничных областей России и Беларуси – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2006. – С. 13.

50. **Кутузов, В. В.** Планирование месячной и годовой наработки с учетом сезонных условий эксплуатации машин / В. В. Кутузов // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы респ. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и студентов. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т., 2007. – С. 66.

51. **Кутузов, В. В.** Планирование и организация работы сезонной техники / В. В. Кутузов, Д. В. Бездников // Материалы оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2007. – Ч. 2. – С. 33–34.

52. **Кутузов, В. В.** Планирование и организация ремонтов строительных и дорожных машин по их техническому состоянию / В. В. Кутузов // Материалы оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2008. – Ч. 3. – С. 38–39.

53. **Максименко, А. Н.** Оценка эффективности эксплуатации строительных и дорожных машин (СДМ) / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов // Материалы оборудование и ресурсосберегающие технологии:

материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2008. – Ч. 3. – С. 47–48.

54. **Кутузов, В. В.** Изменение трудоемкости поддержания и восстановления работоспособности дорожно-строительных машин с учетом наработки с начала эксплуатации / В. В. Кутузов // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы респ. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и студентов. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, – 2008. – С. 87.

55. **Кутузов, В. В.** Анализ показателей надежности погрузчиков Амкодор 332С / В. В. Кутузов // Материалы оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2009. – Ч. 2. – С. 156.

56. **Кутузов, В. В.** Влияние наработки с начала эксплуатации и сезона использования на внутрисменный режим работы строительных и дорожных машин / В. В. Кутузов, Е. В. Кутузова // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы респ. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и студентов – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2009 – С.70.

57. **Кутузов, В. В.** Индивидуальный подход к оценке эффективности эксплуатации строительных и дорожных машин / В. В. Кутузов // Материалы оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2010. – Ч. 2. – С. 34.

#### ***Нормативно-технические документы***

58. Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. Департамент «Белавтодор». Рекомендации по совершенствованию технического обслуживания и ремонта дорожно-строительных машин с учетом целесообразности их эксплуатации на любом этапе с начала использования : ДМД 02191.7.008-2009. – Введ. 01.03.09. – Минск : БелдорНИИ, 2009. – 90 с.

#### ***Отчеты о НИР***

59. Повышение эффективности планирования и организации эксплуатации строительных и дорожных машин: отчет о НИР / Белорусско-Российский университет; рук. темы А. Н. Максименко. – Могилев, 2008. – 97 с. – № ГР 20072615.

60. Поддержание и восстановление работоспособности строительных и дорожных машин с учетом их наработки с начала эксплуатации: отчет о НИР / Белорусско-Российский университет; рук. темы А. Н. Максименко. – Могилев, 2010. – 60 с. – № ГР 20100278.

#### ***Патенты***

61. Способ измерения наработки двигателя машины: пат. ВУ 14392 Респ. Беларусь, МПК6 G 01L 3/00, G 01M 15/00, G 07C 3/00 / А. Н. Максименко, В. В. Кутузов, Д. В. Бездников, И. В. Лесковец .; заявитель Бел.-Рос. ун-т. – № а20090581; заявл. 20.04.2009; опубл. 30.06.2011 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 3(80). – С. 131.

## РЭЗІЮМЭ

Кутузаў Віктар Уладзіміравіч

### Павышэнне працаздольнасці будаўнічых і дарожных машын з улікам змены іх тэхніка-эканамічных паказчыкаў на этапе эксплуатацыі жыццёвага цыкла

**Ключавыя словы:** методыка; эфектыўнасць; напрацоўка; старэнне; унутразменны рэжым працы; будаўнічыя і дарожныя машыны (БДМ).

**Мэта працы:** павялічыць эфектыўнасць тэхнічнай эксплуатацыі БДМ за кошт забеспячэння іх безадмоўнай працы на будаўнічай пляцоўцы і зменшыць прастоі ў тэхнічных абслугоўваннях (ТА) і рамонтах на аснове распрацаваных методык і алгарытмаў планавання і арганізацыі падтрымання і аднаўленні працаздольнасці БДМ шляхам індывідуальнага ўліку іх тэхнічнага стану і тэхніка-эканамічных паказчыкаў працы.

У дысертацыі прадстаўлены атрыманыя ўпершыню вынікі:

– колькасныя залежнасці вызначэння каэфіцыента ўнутразменнага рэжыму працы ў залежнасці ад напрацоўкі з пачатку эксплуатацыі;

– метады вызначэння планаванай гадавой напрацоўкі і працягласці знаходжання БДМ у ТА і рамонтах, якая ўлічвае змены каэфіцыента ўнутразменнага рэжыму працы і каэфіцыента тэхнічнага выкарыстання;

– методыка планавання і арганізацыі тэхнічнай эксплуатацыі машын дарожнай галіны з улікам стану матэрыяльна-тэхнічнай базы, дыягнастычнага забеспячэння, нарматыўна-тэхнічнай дакументацыі па прадпрыемстве і дынамікі змены выходных параметраў пэўнай машыны ад напрацоўкі з пачатку эксплуатацыі;

– методыка індывідуальна падыходу да тэхніка-эканамічнай адзнакі мэтазгоднасці выкарыстання кожнай БДМ з улікам выдаткаў на падтрыманне і аднаўленне іх працаздольнасці, а таксама кошты выкананых аб'ёмаў прац, што дазваляе вызначаць напрацоўкі акупляльнасці, атрымання максімальнага прыбытку, правядзенні рамонту і (або) спісанні БДМ.

Вынікі дысертацыйнай працы выкарыстоўваюцца ў навучальным працэсе ДУ ВПА «Беларуска-Расійскі універсітэт» і ў арганізацыях Дэпартамента «Белаўтадар» Міністэрства транспарта і камунікацый Рэспублікі Беларусь дарожнай і будаўнічай галіны якія эксплуатауюць БДМ у Рэспубліцы Беларусь (з рэалізацыяй на базе ААТ ДБТ № 3). Вынікі працы складаюць аснову распрацаванага дарожна-метадычнага дакумента «Рэкамендацыі па ўдасканаленні тэхнічнага абслугоўвання і рамонту дарожна-будаўнічых машын з улікам мэтазгоднасці іх эксплуатацыі на любым этапе з пачатку выкарыстання» ўведзенага ў дзеянне з 01.03.2009 у арганізацыях Дэпартамента «Белаўтадар».

## РЕЗЮМЕ

Кутузов Виктор Владимирович

### **Повышение работоспособности строительных и дорожных машин с учетом изменения их технико-экономических показателей на этапе эксплуатации жизненного цикла**

**Ключевые слова:** методика; эффективность; наработка; старение; внутрисменный режим работы; строительные и дорожные машины (СДМ).

**Цель работы:** повысить эффективность технической эксплуатации СДМ за счет обеспечения их безотказной работы на строительной площадке и снизить простои в ТО и ремонтах на основе разработанных методик и алгоритмов планирования и организации поддержания и восстановления работоспособности СДМ путем индивидуального учета их технического состояния и технико-экономических показателей работы.

В диссертации представлены полученные впервые результаты:

- количественные зависимости определения коэффициента внутрисменного режима работы в зависимости от наработки с начала эксплуатации;
- метод определения планируемой годовой наработки и продолжительности нахождения СДМ в ТО и ремонтах, учитывающей изменения коэффициента внутрисменного режима работы и коэффициента технического использования;
- методика планирования и организации технической эксплуатации машин дорожной отрасли с учетом состояния материально-технической базы, диагностического обеспечения, нормативно-технической документации по предприятию и динамики изменения выходных параметров конкретной машины от наработки с начала эксплуатации;
- методика индивидуально подхода к технико-экономической оценке целесообразности использования каждой СДМ с учетом затрат на поддержание и восстановление их работоспособности, а также стоимости выполненных объемов работ, позволяющая определять наработки окупаемости, получения максимальной прибыли, проведения ремонта и (или) списания СДМ.

Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» и в организациях Департамента «Белавтодор» Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь дорожной и строительной отрасли эксплуатирующих СДМ в Республике Беларусь (с реализацией на базе ОАО ДСТ № 3). Результаты работы составляют основу разработанного дорожно-методического документа «Рекомендации по совершенствованию технического обслуживания и ремонта дорожно-строительных машин с учетом целесообразности их эксплуатации на любом этапе с начала использования» введенного в действие с 01.03.2009 в организациях Департамента «Белавтодор».

## SUMMARY

Kutuzov Viktor Vladimirovich

### **Increased efficiency of construction and road machines, taking into account changes in their engineering-and-economical performances on the operational phase of life cycle**

**Key words:** methods, efficiency, operating time, aging, operating running regime during working shift, construction and road machines (CRM).

**Objective:** to increase efficiency of CRM technical maintenance by means of their fail-safe operation on the construction site and to reduce downtime for maintenance and repair on the basis of developed methods and scheduling algorithms and organization of CRM maintenance by means of individual records of their operating conditions and engineering-and-economical performances.

In the thesis the results are represented for the first time:

- Quantitative characteristic curves of the determination of operating running regime factor depending on the operating time since the beginning of use;
- Method for determination of planned annual operating time and length of being CRM under repair, taking into account the variation of operating running regime factor and operating efficiency;
- The methods of planning and organization of technical maintenance of road machines, taking into account the state of material and technical basis, diagnosability provision, company standard technical documents and dynamics of output parameters variation of a specific machine since the beginning of use;
- Methods of individual approach to technical and economic assessment of suitability of each CRM use taking into account the costs of its restoring to working condition, as well as the costs of amount of work completed to determine operating time: payback, profit maximization, CRM repair and (or) write-off.

The results of the thesis are used in the teaching process of State Institution of Higher Professional Education «Belarusian-Russian University» and organizations of the Department «Belavtodor», Ministry of Transport and Communications of the Republic of Belarus of building sector operating with CRM in the Republic of Belarus (on the basis of Open Joint-Stock Company RBT № 3). The thesis results form the basis of a developed road-guidance document «Guidelines to improve the maintenance and repair of road construction machines, taking into account the suitability of their operation at any stage since the beginning of use» effective as on 01.03.2009 in the organizations of the Department «Belavtodor».

**КУТУЗОВ Виктор Владимирович**

**ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ И  
ДОРОЖНЫХ МАШИН С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ  
ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА**

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.05.04 – «Дорожные, строительные и подъемно-  
транспортные машины»

Подписано в печать 05.10.2011г. Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл.-печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ № 686.

Издатель и полиграфическое исполнение  
Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет»  
ЛИ №02330/375 от 29.06.2004 г.  
212030, г. Могилев, пр. Мира, 43