

На правах рукописи

Репин Сергей Васильевич

**МЕТОДОЛОГИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ
ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

Специальность 05.05.04 – Дорожные, строительные и подъемно-транспортные
машины

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук

Санкт-Петербург

2008

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Евтюков Сергей Аркадьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Дружинин Петр Владимирович

доктор экономических наук, профессор
Зайцев Евгений Иванович

доктор технических наук, профессор
Кузьмичев Виктор Алексеевич

Ведущая организация: **Научно-производственное предприятие
«Спец Тек»** (г. Санкт-Петербург)

Защита диссертации состоится 02 декабря 2008 г. в 15 час. на заседании специализированного совета Д 212.223.02 при ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190103, Санкт-Петербург, Курляндская ул., дом 2/5, аудитория 219.

Факс (812) 316–58–72, (812) 575-01-95.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Автореферат разослан « 17 » октября 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор

С.А. Волков

Общая характеристика диссертационной работы

Актуальность темы. Одним из главных условий роста экономического потенциала России является ускорение научно-технического прогресса в ведущих областях деятельности, в том числе в строительстве. Современное строительное производство характеризуется непрерывным повышением темпов возведения сооружений, появлением новых строительных технологий, что вызывает необходимость в значительных количественных и качественных изменениях средств механизации строительства и выдвигает требования к совершенствованию системы их технической эксплуатации (СТЭ).

Динамика средств механизации строительства проявляется, с одной стороны, в росте численности парка техники, усложнении конструкции и появлении новых видов машин, расширении номенклатуры, сокращении цикла «проектирование-производство-поставка оборудования» до 1...2 лет, и, как следствие, ускорении темпов обновления парка. С другой стороны, наблюдается старение состава техники в отдельных организациях, не имеющих средств для обновления парка. Так, в значительной части управлений механизации (УМ) доля машин с истекшим сроком службы достигает 90%, а разброс сроков службы превышает двадцать лет.

Эффективное применение такого разновозрастного парка с широкой номенклатурой машин требует дифференцированного подхода к организации его технической эксплуатации (ТЭ), повышения адаптивности СТЭ к новым видам машин и условиям использования, непрерывного совершенствования методов и средств обеспечения работоспособности. Однако, снижение показателей эксплуатации строительных машин (СМ) указывает на недостаточный уровень развития СТЭ. Так, в строительных организациях г. Санкт-Петербурга внеплановые простои машин достигают 30% фонда рабочего времени, имеет место повышение аварийности техники, а значительные затраты на обеспечение работоспособности машин делают их эксплуатацию низкорентабельной. Причем схожая ситуация наблюдается как в относительно благополучных строительных фирмах с молодым парком техники, так и в существующих на грани выживания УМ. В сравнительно молодых и преуспевающих предприятиях имеется отставание развития материально-технической и технологической базы ТЭ от роста парка техники, а объем услуг специализированных сервисных и фирменных центров недостаточен. В управлениях механизации, традиционной форме предприятий по эксплуатации строительных машин (ПЭСМ), причиной простоев техники являются в основном частые поломки из-за изношенности парка машин, низкого уровня организации ТЭ. С переходом к рыночной экономике СТЭ в УМ не только не претерпела существенных положительных изменений, но и значительно утратила свой потенциал. Так, сократились площади ремонтных цехов, состарился парк оборудования, произошел отток наиболее квалифицированных кадров в фирмы с высокой зарплатой. Нарушилась система обеспечения ТЭ (подготовки ремонтников, централизованного снабжения запчастями и комплектующими), сократилось количество специализированных ремонтных предприятий.

Одной из основных причин недостаточной эффективности применения машин является низкая адаптивность СТЭ к изменяющимся условиям. Несовершенство управленческих и организационных технологий ТЭ проявляется в недостатках системы учета работы машин, планирования мероприятий ТЭ, оценки качества выполнения технических воздействий, применения технического диагностирования. Особенно сильно влияние отказов гидропривода из-за высокой их частоты и трудоемкости устранения последствий.

Неблагоприятное положение с ТЭ продолжает ухудшаться – темпы роста парка СМ значительно опережают увеличение потенциала СТЭ. Так, по данным Ростехнадзора количество СМ в Санкт-Петербурге с 2000 по 2007 год выросло в три раза, прогнозируется увеличение числа машин.

Назрела актуальная необходимость совершенствования СТЭ. Следует отметить, что немаловажной причиной возникновения проблемной ситуации является отсутствие научно обоснованной методологии создания гибкой СТЭ, способной формироваться оптимальным образом для отдельной строительной машины, для конкретного эксплуатационного предприятия и быстро перестраиваться в зависимости от внутренних и внешних условий. Имеющиеся теоретические разработки предлагают совершенствование лишь отдельных процессов ТЭ, но не дают комплексного решения. В целях помощи в разрешении проблемы Госстрой России выпустил в 2003 году «Методические указания по разработке и внедрению системы управления качеством эксплуатации строительных машин» (МДС 12-12.2002), предлагающие подходить к построению СТЭ с учетом положений стандартов ИСО 9000. Именно на основе этих международных стандартов создаются западные системы комплексного управления основными фондами (Enterprise Asset Management – ЕАМ), применяемые и в области эксплуатации строительных машин. Построение ЕАМ-систем осуществляется на основе новейших достижений науки и техники.

Наука располагает широким спектром методов повышения эффективности производственных процессов. Это, в первую очередь, системный анализ, моделирование, информационные технологии (ИТ). Системный анализ позволяет оценить вклад каждого мероприятия, каждой структурной единицы СТЭ в общую эффективность использования строительных машин, выявить недостатки в работе и наметить пути решения проблем. Моделирование процессов ТЭ дает возможность выбрать их оптимальные параметры и тем самым способствовать повышению эффективности. Использование ИТ способствует обеспечению взаимодействия всех элементов СТЭ, предоставлению каждому работнику необходимой информации для принятия оптимальных решений на своем уровне, автоматизации управления производственными процессами.

Основные разделы диссертации разрабатывались в рамках: научно-технической программы «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники» в 2002–2004 гг. (Подпрограмма 211: «Архитектура и строительство. Разработка и совершенствование средств механизации и автоматизации строительства»); договора «Исследование процессов автоматизации управления эксплуатацией строительной техники и разработка их информационного обеспечения» с Управлением механизации ОАО «Метрострой», г. Санкт-Петербург (гос. рег. № 012007007384 от 12.03.2007).

Объект исследований – система технической эксплуатации строительных машин.

Предмет исследований – строительная машина, парк строительных машин управления механизации.

Цель диссертационного исследования – разработка методологии совершенствования системы технической эксплуатации, направленной на улучшение выполнения организационных, управленческих и технологических процессов технической эксплуатации на основе теоретических исследований, применения информационных технологий.

Основные задачи, решение которых обеспечивает достижение поставленной цели.

1. Анализ развития и направлений совершенствования системы технической эксплуатации строительных машин.

2. Исследование системы технической эксплуатации методами системного анализа.

3. Исследование влияния системы технической эксплуатации на показатели работоспособности и эффективности использования парков строительных машин.

4. Исследование процессов формирования адаптивной стратегии технической эксплуатации строительных машин, оптимальной для конкретного эксплуатационного предприятия.

5. Разработка информационной автоматизированной системы управления технической эксплуатацией строительных машин, содержащей интегрированные информационные модели оптимизации процессов ТЭ, полученные в результате теоретических исследований.

Методология настоящей работы использует комплекс методов анализа свойств и возможностей совершенствования сложных многофункциональных систем: системный анализ, математическое, имитационное и компьютерное моделирование, информационные технологии.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в разработке методологии совершенствования технической эксплуатации, базирующейся на научно обоснованных теоретических и технических решениях, направленных на повышение эффективности использования строительной техники, внедрение которой вносит значительный вклад в развитие экономики страны. Впервые выполнены следующие научные разработки.

1. Методами системного анализа проведено исследование влияния технической эксплуатации на эффективность применения строительных машин, позволившее сформировать комплекс показателей и математических моделей, описывающих это влияние.

2. Разработаны разделы методологии оптимального управления эффективностью эксплуатации строительных машин средствами технической эксплуатации на основе комплекса математических моделей:

- возрастной динамики надежностных и технико-экономических показателей под воздействием мероприятий ТЭ;
- управления техническим состоянием и сроком службы строительных машин посредством капитальных ремонтов;
- формирования парков машин с заданным уровнем технического состояния;
- обеспечения заданного уровня надежности парков машин посредством страхового (запасная техника) и ремонтного резервирования;
- оптимизации состава мероприятий ТЭ по устранению последствий внезапных отказов машин с целью минимизации ущерба.

3. Разработаны методики оптимизации процессов ТЭ на основе вышеуказанных математических моделей, а также:

- управления работоспособностью парка машин на основе контроля уровня надежности машины и параметров технического состояния узлов;
- оценки эффективности мероприятий ТЭ, отдельных технологических процессов, использования единицы техники и парка машин в целом;
- обоснования и достижения требуемого уровня надежности машин для различных режимов эксплуатации, отличающихся степенью ответственности выполняемой работы, связанной с величиной возможного материального или иного ущерба из-за недостаточного уровня надежности;
- формирования гибкой стратегии ТЭ для каждой единицы техники;
- формирования СТЭ с учетом особенностей эксплуатационного предприятия.

4. Разработана информационная автоматизированная система управления (ИАСУ) ТЭ, способствующая реализации на практике выполненных теоретических разработок, а именно: формированию гибкой стратегии ТЭ для каждой единицы техники; построения оптимальной СТЭ для конкретного эксплуатационного предприятия; оптимизации процессов ТЭ посредством интегрированных информационных математических моделей.

Обоснованность и достоверность теоретических моделей подтверждена результатами расчетов по специально разработанным математическим компьютерным программам для реальных производственных условий и положительным опытом внедрения разработок в практическую деятельность в виде информационной автоматизированной системы управления ТЭ, методик и рекомендаций по совершенствованию СТЭ.

Практическая ценность заключается в разработке:

- методики формирования гибкой стратегии ТЭ строительных машин;
- методики построения оптимальной СТЭ с учетом особенностей эксплуатационного предприятия;
- автоматизированной информационной системы управления ТЭ на основе применения информационных технологий организации и моделирования производственных процессов.

На защиту выносятся:

1. Результаты системного анализа технической эксплуатации, содержащие: механизмы влияния СТЭ на эффективность применения строительных машин; систему показателей работоспособности парка машин, характеризующих уровень функционирования отдельных сторон СТЭ; состав комплекса математических моделей повышения эффективности применения строительных машин путем оптимизации отдельных процессов ТЭ.

2. Совокупность теоретических положений, содержащая комплекс математических моделей процессов ТЭ строительных машин, а именно:

- динамики показателей машин в зависимости от возраста под воздействием процессов ТЭ, на основании этих моделей разработаны методы оптимизации сроков службы и расчета остаточного ресурса по ряду параметров – технических, надежности, экономических;
- оценки целесообразности и оптимальных сроков проведения капитальных ремонтов;
- влияния ТЭ на процессы формирования парков строительных машин в соответствии с требуемым уровнем надежности;
- повышения эффективности парков машин посредством оптимизации параметров процессов страхового и ремонтного резервирования;
- оптимизации уровня надежности техники в соответствии с характером выполняемых работ;
- влияния мероприятий ТЭ на величину ущерба от простоев машин в неплановых ремонтах.

3. Методика формирования оптимального состава парка машин с заданными параметрами производственной мощности и надежности с учетом возрастной структуры.

4. Методика управления работоспособностью парка машин на основе контроля уровня надежности машины и параметров технического состояния узлов.

5. Методика формирования гибкой стратегии ТЭ строительных машин, построенная на основании теоретических исследований процессов ТЭ.

6. Комплекс программных средств для расчета и оптимизации режимов ТЭ строительных машин.

7. Информационная автоматизированная система управления ТЭ, содержащая интегрированные информационные модели оптимизации процессов ТЭ.

Публикации. Основные положения исследования опубликованы в 102 научных работах, в том числе в монографии, тринадцати статьях в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, двух брошюрах, одиннадцати научно-технических отчетах; получено свидетельство о государственной регистрации базы данных, 26 авторских свидетельств на изобретения.

Апробация работы. Основные результаты исследований были представлены на 24-х научных, международных и научно-практических конференциях ЛИСИ-СПбГАСУ, а также на следующих:

1. 2nd International Machinery Monitoring & Diagnostics Conference “Machinery Condition Monitoring – Key to Performance and Productivity for the 90’s”. October 22-25, 1990. – Los Angeles, California: Union College.

2. Научно–практическая конференция «Опыт трестов и управлений механизации в новых условиях хозяйствования». – Л.: ЛДНТП. – 1991.

3. Международный семинар «Повышение эффективности применения машин в строительстве» / Ченстоховский политехнический университет. – Польша, Częstochowa. – 2004, 2005.

4. Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы проектирования и эксплуатации транспортных и технологических систем» / Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. – 2006.

5. Совещание президиума Союза Строительных Организаций и Объединений г. Санкт-Петербурга. – 2007.

6. Научно-практическая конференция «Современные проблемы строительства» / ЛенОблСоюзСтрой. – 2007.

7. «Решетневские чтения» – XI Междунар. науч. конф. 6-10 ноября 2007 г. – Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – 2007. – С. 300-301.

8. V-я Всерос. НТК «Политранспортные системы», Красноярск, 21-23 ноября 2007 г. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т; Политехн. ин-т. – 2007.

9. На семинаре «Информационные системы в промышленности» в Инженерно-экономической академии в г. Санкт-Петербурге. – 2008.

В полном объеме работа доложена и одобрена на заседаниях кафедры надежности и эксплуатации машин в Высшем инженерно-техническом университете и кафедры логистики и организации перевозок в Инженерно-экономической академии в г. Санкт-Петербурге.

Реализация результатов работы. На основе представленных в диссертации научных исследований и инженерных разработок были созданы и внедрены:

1. Комплекс программных средств для расчета и оптимизации режимов эксплуатации строительных машин в ЗАО «УМ–РОССТРО» (г. Санкт-Петербург).

2. Методика совершенствования эксплуатации строительных машин, построенная на основании теоретических исследований ЗАО «УМ–РОССТРО», ООО «Управление механизации № 6» (г. Санкт-Петербург).

4. Информационная автоматизированная система управления ТЭ в управлении механизации ОАО «Метрострой» (г. Санкт-Петербург).

5. Рекомендации по созданию интегрированной логистической поддержки жизненного цикла тракторов, выпускаемых ОАО «Кировский завод» (ЗАО «Агротехмаш», генеральная сбытовая компания ЗАО «Петербургский тракторный завод – дочернее предприятие ОАО «Кировский завод»).

6. Материалы диссертационной работы используются в курсе лекций и в расчетно-аналитических заданиях по дисциплине «Эффективность применения строительных

машин» для студентов специальностей «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование» и «Механизация и автоматизация строительства».

7. На основании диссертационных исследований разработаны курсы для семинаров, проводимых в Институте повышения квалификации при СПбГАСУ и в Центре научно-технической информации «Прогресс» (г. Санкт-Петербург).

8. Вариант информационно-аналитической системы «Эксплуатация парка строительных машин» используется на практических и лабораторных занятиях по дисциплине «Эксплуатация и ремонт строительных машин» для студентов вышеуказанных специальностей.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложений. Диссертация содержит: 395 страниц текста, включающие 25 таблиц, 129 иллюстраций; приложения. Список литературы содержит 309 наименований.

Содержание работы

Введение. Рассмотрены основные положения диссертационной работы, обоснована актуальность рассматриваемой проблемы исследований, дана краткая аннотация работы.

В первой главе «Состояние и перспективы развития технической эксплуатации строительных машин» проведен анализ работ по эффективности применения машин, теории и практики ТЭ, мировых и российских тенденций организации системы жизнеобеспечения техники, рассмотрено состояние рынка СМ, рынка услуг по сервису, проанализировано влияние информационных технологий на процессы использования техники, намечена цель и сформулированы задачи исследования.

Анализ исследований (М.И.Грифф, Е.И.Зайцев, С.Е.Канторер, А.П.Ковалев) показывает, что эффективность применения машин в значительной степени определяется уровнем их надежности, формируемом на всех этапах жизненного цикла. Помимо снижения выработки, выражаемой в машино-часах и единицах производительности, недостаток надежности повышает техногенный риск (В.В.Болотин, А.М. Половко, И.А.Ушаков, В.И.Эдельман), характеризующий вероятность отказов технических систем, приводящих к авариям, экономическим и другим видам ущерба, и снижающих в конечном итоге эффективность. Поэтому особенно важно управлять надежностью на этапе эксплуатации, на котором машина реализует свое назначение.

Исследователи систем жизнеобеспечения (СЖО) технических объектов (М.И.Грифф, Е.И.Зайцев, В.А.Зорин, Б.Г.Ким, Ю.А.Корытов, С.Е.Максимов, С.Н.Николаев, А.В.Рубайлов), рассматривают фирменную СЖО как наиболее эффективную и перспективную. Построение фирменной СЖО основано на стандартах серии ИСО 9000, предусматривающих разработку и сертификацию систем качества проектирования, производства, эксплуатации, обслуживания и ремонта машин. Поэтому одним из принципов совершенствования СТЭ и является формирование системы качества эксплуатации строительных машин, с доведением в перспективе до фирменного уровня.

Повышение эффективности процессов жизнеобеспечения техники является одним из приоритетных научных направлений на Западе. Достижения науки и практики в этой области нашли выражение в концепции CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукта), также базирующейся на международных стандартах серии ИСО 9000 и ИСО 14000. Совершенствование процессов согласно концепции CALS должно быть основано на базовых принципах: реинжиниринге бизнес-процессов; создании интегрированной информационной среды (ИС) предприятия; применении интегрированных информаци-

онных моделей (ИИМ); ведения электронной документации; интеграции с поставщиками машин, оборудования, материалов, услуг (интегрированная логистическая поддержка).

Реинжиниринг предусматривает разработку программы непрерывного совершенствования процессов на основе системного анализа предприятия. ИИМ представляют собой математические модели процессов, интегрированные в информационную среду предприятия с целью их оптимизации. Назначение электронной документации – хранение, сбор и предоставление информации о предприятии, в т.ч. машинах, оборудовании, персонале. Ядром ИС для предприятия по эксплуатации строительных машин должен быть программный комплекс управления ТЭ. Выполнение указанных базовых принципов обеспечит предприятию построение СТЭ согласно последним достижениям науки и техники, а также снижение влияния человеческого фактора на надежность техники за счет применения методов контроля качества выполнения и принятия оптимальных решений организации мероприятий ТЭ.

Проведенными при участии автора исследованиями 2005-2006 гг. установлено, что на предприятиях по эксплуатации строительных машин и транспорта отсутствуют ИС, позволяющие оптимизировать процессы ТЭ. В лучшем случае обеспечивается электронный документооборот, учет наработки и расхода ресурсов (крупные транспортные предприятия).

Отечественными и зарубежными учеными выполнено большое количество исследований, результаты которых можно использовать для формирования требуемого набора ИИМ – в области надежности технических систем (Д.П.Волков, Б.В.Гнеденко, Б.Диллон, А.С.Проников, Н.Стефанов, Б.Ф.Хазов), организации эксплуатации (Н.Г.Гаркави, С.В.Далецкий, В.А.Зорин, В.И.Игнатов, Е.С.Кузнецов, И.А.Луйк, Э.А.Сухарев, А.М.Шейнин), оптимизации процессов обслуживания и ремонта (Ф.Байхельт, Б.Н.Бирючев, Б.Г.Ким, Н.В.Коценко), оптимизации сроков службы (Л.Л.Вегер, С.Е.Канторер, Р.Н.Колегаев, Р.М.Петухов, А.И.Селиванов) и других. Исследования показывают, что развитие методов обеспечения работоспособности происходит в направлении совершенствования профилактической стратегии с учетом состояния машин, основанном на контроле надежности и характеристик технического состояния.

Однако не обнаружено достаточно крупных исследований, посвященных системному анализу ТЭ и позволяющих составить программу ее совершенствования и сформировать комплекс математических моделей оптимизации основных процессов ТЭ.

В результате проведенных исследований сформулированы цель и задачи, решение которых обеспечивает достижение цели диссертационной работы.

Во второй главе «Исследование влияния системы технической эксплуатации на эффективность средств механизации строительства» рассмотрены: методические принципы формирования эффективной СТЭ; разработана методика исследования направлений повышения эффективности парка машин средствами ТЭ с использованием системного анализа, сформирован состав комплекса математических моделей оптимизации процессов ТЭ.

В общем случае эффективность рассматривается как отношение результата деятельности к затраченным ресурсам. Цель функционирования СТЭ – обеспечение *требуемого уровня* технического состояния парков строительных машин при минимальных затратах ресурсов.

Диссертационная работа посвящена разработке методологии создания гибкой системы технической эксплуатации, оптимальной для различных ПЭСМ, реализованной в виде информационной автоматизированной системы управления ТЭ. Под гибкой

подразумевается СТЭ, адаптируемая оптимальным образом для эксплуатации любой машины (в общем случае, технического объекта – ТОБ) в зависимости от ее возраста, условий применения и обеспечивающая максимальную эффективность. Под оптимальной для различных ПЭСМ следует понимать СТЭ, обеспечивающую *требуемый уровень* технического состояния ТОБ при наивыгоднейшем сочетании использования собственных ресурсов предприятия и услуг специализированных организаций. Требуемый уровень технического состояния ТОБ определяется законодательством, нормативами (безопасности, экологичности, эргономики, эстетики и пр.), технико-экономическими соображениями (производительности, экономичности, рентабельности, конкурентоспособности, материало- и энергоемкости и др.).

Хотя в настоящей работе реализация исследований выполнена для строительной техники, основные положения разрабатываемой методологии являются универсальными, применимыми для создания СТЭ любых технических объектов.

Уровень технического состояния строительных машин достаточно информативно (с точки зрения управления им) описывается комплексными показателями надежности – коэффициентами готовности (Кг) и технического использования (Кти). Чем выше Кти парка машин, тем лучше результат работы СТЭ. А, так как Кти пропорционален наработке машин за расчетный период, то показателями эффективности СТЭ могут служить затраты ресурсов на обеспечение машино-часа их работы: рабочего времени ремонтников (чел.-ч/ маш.-ч), времени простоя в плановых и неплановых ТОиР (ремонтно-ч/маш.-ч), материальных затрат в денежном выражении (руб./маш.-ч) и т.д.

СТЭ представляет собой сложную производственно-техническую систему и в то же время является подсистемой предприятия по эксплуатации строительных машин. Работа ПЭСМ будет эффективной при условии эффективного функционирования его подсистем: парка машин (ПМ), технической и коммерческой эксплуатации (рис. 1).

ПМ является ядром ПЭСМ: система существует для ПМ и за счет эксплуатации ПМ, т.е. парк машин представляет собой объект воздействия и источник средств для существования системы. Чтобы парк машин мог функционировать требуется поддерживать его работоспособность. Эту задачу выполняет СТЭ. Загрузку парка машин работой обеспечивает система коммерческой эксплуатации (СКЭ). Разработан комплекс показателей эффективности (технических и экономических) каждой подсистемы ПЭСМ и предприятия в целом.

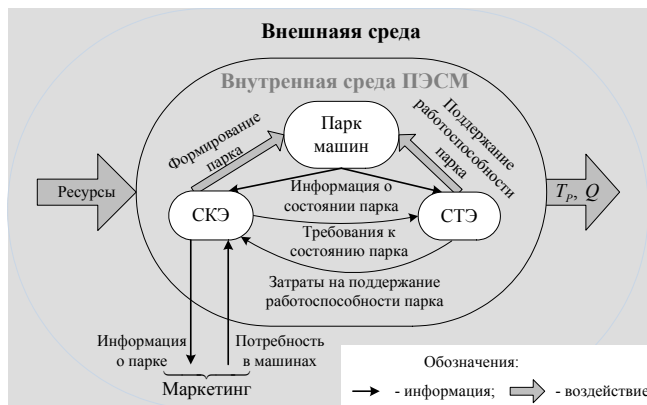


Рис. 1. Системное представление о ПЭСМ: СТЭ – система технической эксплуатации; СКЭ – система коммерческой эксплуатации; T_p – наработка парка машин на объектах за расчетный период; Q – объем выполненных работ за расчетный период

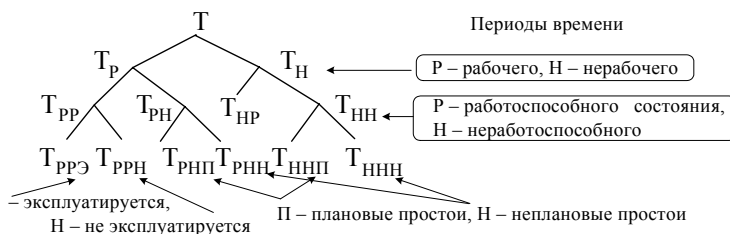


Рис. 2. Граф возможных состояний машины в процессе ее эксплуатации (по Б.Д. Прудовскому, В.Б. Ухарскому)

Разработан комплекс показателей эффективности (технических и экономических) каждой подсистемы ПЭСМ и предприятия в целом.

Процесс формирования наработки парка машин, как результата и источника эф-

фактивности деятельности ПЭСМ, определяется периодами времени пребывания машин в различных состояниях (рис. 2), варьирование сочетанием которых позволяет вывести технические показатели работы подсистем ПЭСМ (рис. 3). Буква «*t*» в скобках указывает на зависимость показателей от срока службы машины. В соответствии с графом состояний можно представить схему формирования наработки парка машин (рис. 4).

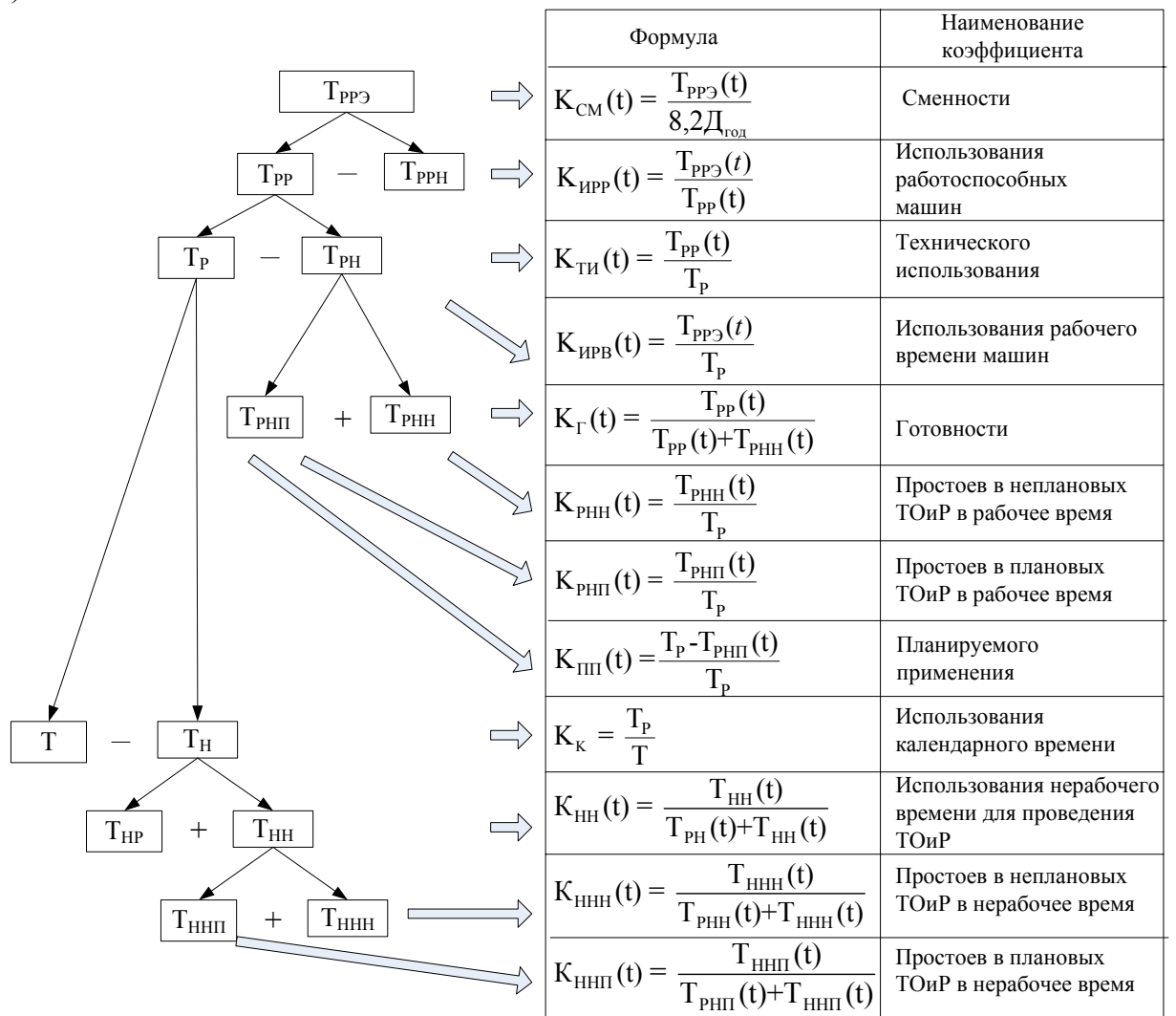


Рис. 3. Модель формирования показателей использования парка машин: 8,2 – продолжительность рабочей смены, ч; $D_{год}$ – количество дней в году

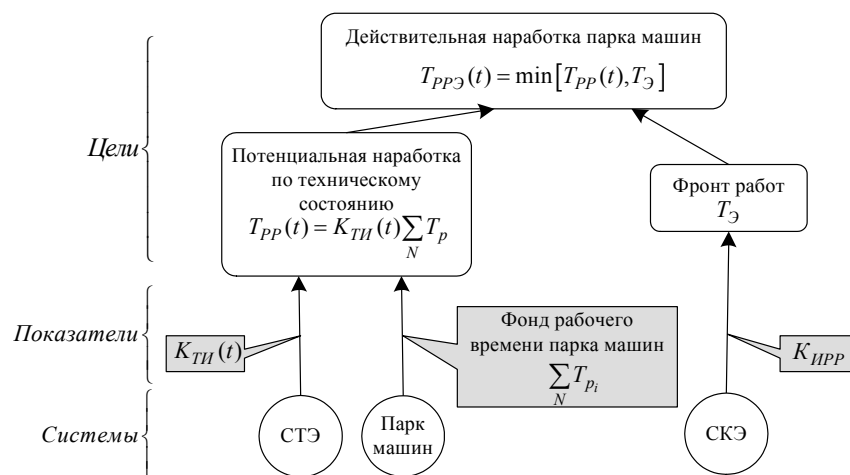


Рис. 4. Схема формирования наработки парка машин

Требуемый уровень работоспособности строительных машин СТЭ обеспечивает благодаря своей функциональной структуре. На рис. 5. представлена декомпозиция СТЭ на функциональные составляющие – процессы, отражающие основные направления деятельности СТЭ. Процессы в свою очередь подразделяются на процедуры, представляющие собой комплекс мероприятий по обеспечению работоспособности парка машин. Процедуры содержат набор операций управленческого, организационного и технологического характера.

Для управления процессом формирования наработки согласно представленной на рис. 4 схеме следует установить возможности влияния СТЭ на Кти. Для решения этой задачи был применен *программно-целевой анализ* (ПЦА). Согласно ПЦА производится декомпозиция цели функционирования системы и самой системы соответственно на подцели и подсистемы и устанавливаются связи-воздействия подсистем на подцели. Каждое воздействие может быть описано математически. Т.о. получается комплекс моделей формирования эффективности работы системы.

Коэффициент технического использования является одним из главных показателей работы СТЭ и в то же время представляет собой комплексный показатель надежности машин, элементный анализ структуры которого может показать характер воздействия СТЭ на работоспособность машин (рис. 6).

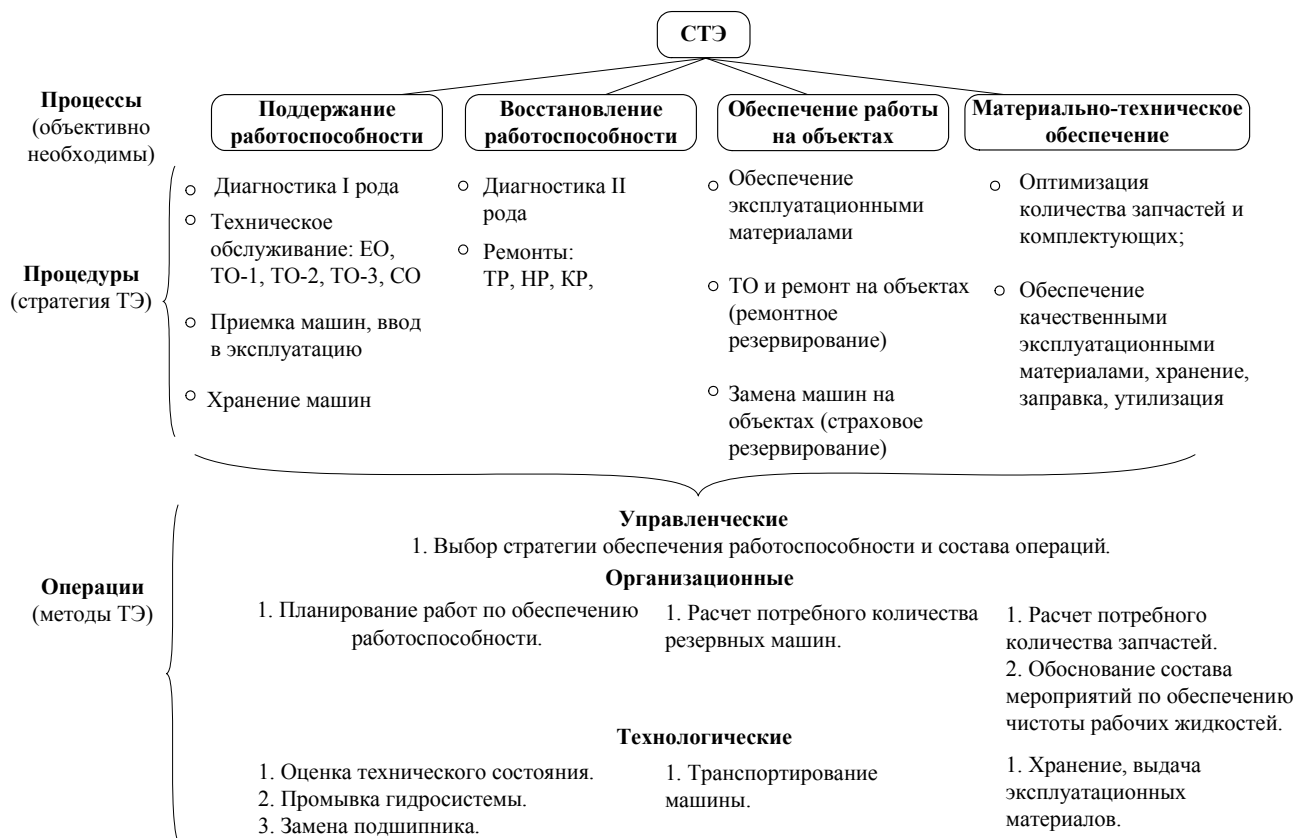


Рис. 5. Функциональная структура системы технической эксплуатации¹

¹ На рисунке приведен лишь краткий перечень операций в качестве примера.

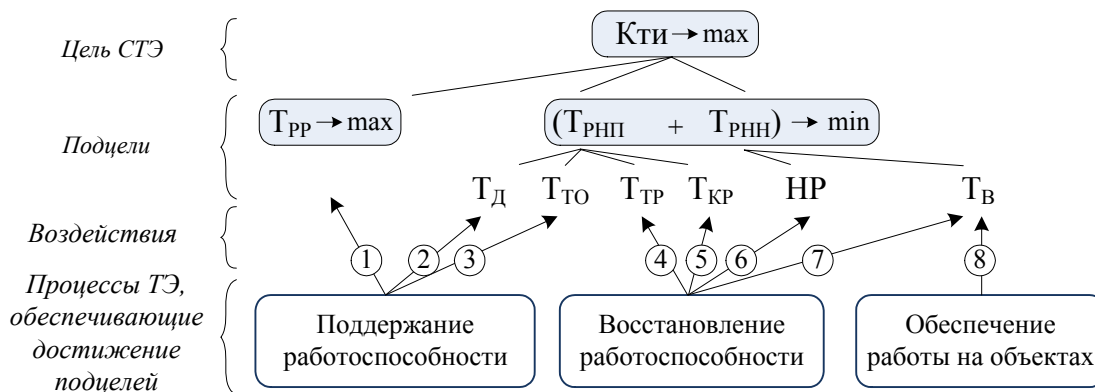


Рис. 6. Декомпозиция коэффициента технического использования:

T_D , T_{TO} , T_{TR} , T_{KR} – продолжительность выполнения диагностирования, технических обслуживаний, текущих и капитальных ремонтов соответственно; HP – количество unplanned repairs; T_B – продолжительность восстановления работоспособности машины (или ожидания возобновления работ на объекте в случае использования резервной машины)

Воздействие функциональных элементов СТЭ на составляющие структуры Кти описывается комплексом математических моделей обеспечения эффективности применения строительных машин средствами СТЭ (табл. 1), который по сути представляет собой основу программы ее совершенствования (рис. 7).

Оценить влияние составляющих СТЭ на эффективность применения строительных машин позволяет не только рассмотренный выше ПЦА, но и другие виды системного анализа – экспертный, ресурсный, факторный (глава пять). Такой многосторонний подход уменьшает вероятность оставления без внимания какого-либо значимого фактора.

Так, с помощью *экспертного анализа* можно посмотреть на проблему эффективности с точки зрения эксплуатационников. С целью получения информации о влиянии составляющих СТЭ на эффективность ПЭСМ был проведен экспертный анализ мнений ИТР шести УМ г. Санкт-Петербурга путем анкетирования работников с последующей обработкой данных.

В ходе экспертного анализа выделены семь основных составляющих, определяющих эффективность СТЭ (в скобках – средний уровень влияния на эффективность): управление (19%); система и организация ТОиР (22%); система обеспечения работы техники на объектах (8%); производственная база (13%); персонал (14%); система материально-технического обеспечения (16%); организация процессов хранения и транспортирования машин (7%).

Среди основных направлений повышения эффективности работы ПЭСМ названы (в убывающей последовательности) следующие пути совершенствования: взаимодействия служб предприятия; планирования и управления ТОиР; системы сбора и обработки информации; оперативности выполнения ТОиР; организации работы машин на объектах; обновления парка машин.

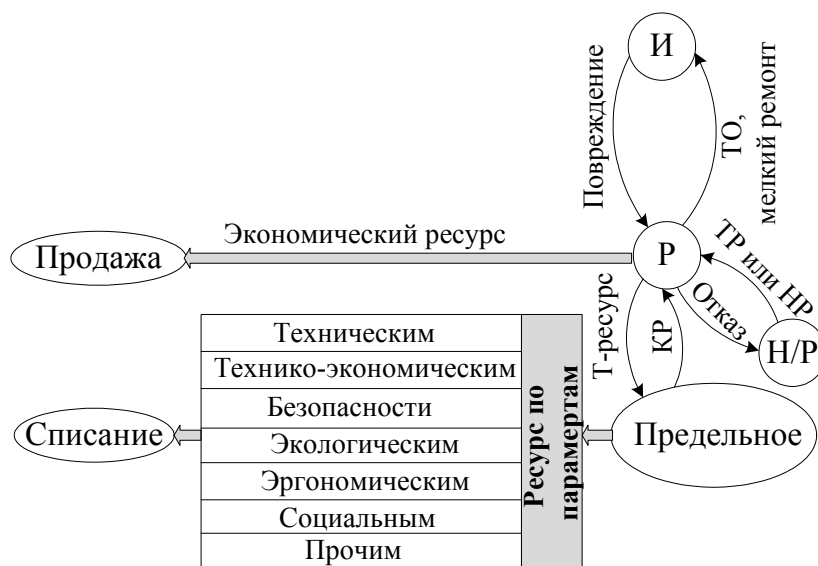
Модели и методы решения задач обеспечения эффективности использования строительных машин посредством технической эксплуатации

Параметр	Чем определяется	Название матмодели, метода исследования или достижения результата
T_{PP}	Состав парка.	Модель старения машины. Модели формирования наработки и парка машин.
	Затраты времени на пребывание в плановых и неплановых ТВ.	Модели проведения технических воздействий в рабочее и нерабочее время машины.
$T_{Д}$ $T_{ТО}$ $T_{ТР}$	Стратегия обеспечения работоспособности.	Методика обоснования стратегии ТОиР.
	Достаточность ремонтных мощностей (собственных и привлекаемых).	Методика формирования СТЭ для конкретного предприятия.
	Обеспеченность ресурсами (кадровыми, техническими, технологическими, резервными, информационными и т.д.).	Модель ремонтного резервирования. Ресурсный анализ СТЭ.
	Системы управления, контроля качества выполнения операций ТОиР.	Методика оценки уровня выполнения операций ТЭ.
	Техническое состояние машины (зависит от конструктивной надежности, срока службы, условий эксплуатации, уровня ТЭ).	Модели влияния СТЭ на процессы старения и формирования парка машин.
	Требуемый уровень надежности машины (устанавливается нормативными документами, условиями использования).	Модели оптимального уровня надежности машины и парка машин. Модели управления техническим состоянием машины по уровню надежности и параметрам технического состояния. Модель оптимального соотношения плановых и неплановых ТВ.
	Нормативные документы, условия использования (сезонность, климатическая зона, сменность работы, коэффициент загрузки по мощности, требуемый уровень надежности).	Модели формирования и корректировки структуры ТОиР. Модели оптимизации режимов ТОиР.
$T_{КР}$	Технические требования к машине, техническое состояние машины, технико-экономические соображения.	Модель управления техническим состоянием машины посредством КР.
HP	Качественный состав парка (возраст, свойства приобретаемой техники).	Модели влияния СТЭ на процессы старения и формирования парка машин.
	Уровень совершенства СТЭ.	Анализ структуры отказов и влияния процессов ТЭ. Модели оценки качества выполнения операций ТЭ
$T_{В}$	Качественный состав парка (возраст, свойства приобретаемой техники).	Модели влияния СТЭ на процессы старения и формирования парка машин.
	Уровень совершенства СТЭ.	Анализ структуры отказов и влияния процессов ТЭ. Модели оценки качества выполнения операций ТЭ.
	Система мероприятий по восстановлению работоспособности отказавшей техники и возобновлению работ на объекте.	Модели: влияния внезапных отказов на эффективность применения машин; восстановления работоспособности после внезапных отказов; ремонтного и страхового резервирования.



Рис. 7. Комплекс моделей влияния СТЭ на формирование эффективности применения строительных машин

Ресурсный анализ эффективности эксплуатации строительных машин предполагает рассмотрение предприятия, как обладателя уникального набора ресурсов, уровень использования которых определяет стратегический успех или стратегическую неудачу организации. В диссертации дан анализ ресурсов ПЭСМ, в состав которых входят:



машины, оборудование, здания, сооружения, территория, технологии, документация, персонал, информационные ресурсы, финансы и др. Разработан метод использования ресурсного подхода для формирования оптимальной СТЭ для конкретного эксплуатационного предприятия путем моделирования влияния приращения ресурса на рост эффективности.

Рис. 8. События, состояния технической системы (граф переходов) и ресурсные характеристики: И – исправное состояние; Р – работоспособное; Н/Р – неработоспособное; ТР, НР, КР – ремонт, соответственно текущий, неплановый, капитальный; Т-ресурс – технический ресурс

В третьей главе «Исследование процессов управления работоспособностью строительной техники методами технической эксплуатации» рассмотрено влияние стратегии проведения мероприятий ТОиР на возрастную динамику надежностных и технико-экономических показателей, разработаны математические модели, описывающие динамику показателей для различных вариантов эксплуатации машин, влияние капитальных ремонтов. Разработаны методики: оптимизации и продления сроков службы техники; формирования парков машин по заданному уровню технического состояния. По всем математическим моделям составлены программы в средах Mathcad и Excel и выполнены примеры расчетов для реальных условий эксплуатации машин.

В процессе использования происходит чередование состояний машины (рис. 8), расход ресурса, изменение параметров. Управление состоянием машины осуществляется методами ТЭ. Срок службы машины до списания или целесообразного использования определяется выбранными параметрами, на основе моделирования динамики которых построены соответствующие модели списания.

Динамика работоспособности технических объектов (ТОб) по мере старения выражается через два основных проявления – уменьшение уровня надежности вследствие роста количества отказов и изменение параметров технического состояния (ТС). Поэтому наиболее прогрессивная стратегия управления работоспособностью машин – по состоянию, может осуществляться двумя методами в зависимости от контролируемого показателя: с контролем уровня надежности (УКУН); с контролем параметров (УКП) технического состояния.

Для осуществления УКУН необходима организация сбора и обработки статистической информации по наработке, отказам, затратам ресурсов, наличие математических моделей динамики надежностных и технико-экономических параметров ТОб. Контроль параметров ТС для осуществления УКП производится путем применения технического диагностирования машин.

В третьей главе построены математические модели динамики надежностных и технико-экономических параметров ТОб, необходимые для реализации УКУН. Были рассмотрены два крайних варианта проведения мероприятий ТЭ: только в рабочее время машины и максимально в нерабочее время.

Анализ влияния возрастных изменений технического состояния строительных машин на технико-экономические характеристики показывает уменьшение наработки $T_{PP}(t)$ и производительности $Q(t)$, увеличение эксплуатационных затрат $Z(t)$ с интенсивностью 1,5...4 % в год. Эти изменения достаточно хорошо (с адекватностью 0,88...0,92) описываются экспоненциальной зависимостью с параметром $\beta = 0,012...0,048 \text{ год}^{-1}$ (параметр старения по наработке β_t , производительности β_Q и по затратам β_z):

$$T_{PP}(t) = T_0 \cdot K\Gamma(t), \quad (1)$$

$$K\Gamma(t) = \exp(-\beta_t \cdot t), \quad (2)$$

$$Q(t) = Q_0 \exp(-\beta_Q \cdot t), \quad (3)$$

$$Z(t) = Z_0 \exp(\beta_z \cdot t), \quad (4)$$

где $T_{PP}(t)$ – продолжительность пребывания машины в работоспособном состоянии в рабочее время; T_0 , Q_0 , Z_0 – наработка, производительность и затраты за первый расчетный период новой машины соответственно; $K\Gamma(t)$ – коэффициент готовности машины; t – возраст машины.

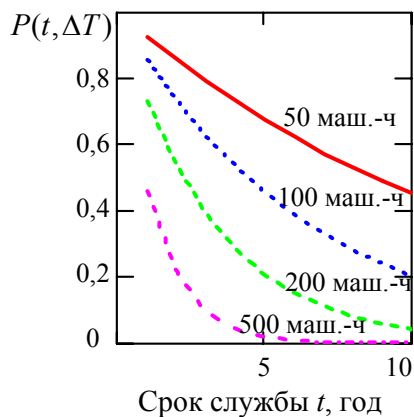


Рис. 9. График зависимости вероятности безотказной работы экскаватора ЭО-4125 за период времени ΔT от возраста машины, построенный по данным УМ-4 (г. Санкт-Петербург) в программе Mathcad

Каждому показателю задается предельное значение и соответствует своя модель срока службы (см. рис. 8). Так, **срок службы и остаточный ресурс** ТОб по выбранному минимальному значению коэффициента готовности определяются выражениями:

$$t^c = \frac{-\ln K_{\Gamma \min}}{\beta_t}; \quad (5)$$

$$t_{\text{ост}}(t) = \left[\ln K_{\Gamma}(t) - \ln K_{\Gamma \min} \right] / \beta_t. \quad (6)$$

Выражения для приведенных выше показателей выводились на основании интегральной характеристики – суммарного времени восстановления машины (за год) после внезапных отказов. При наличии информации об интенсивностях потоков отказов $\lambda_i(t)$ и восстановлений $\mu_i(t)$ отдельных из n -го количества узлов машины для описания вероятности состояний можно использовать формулы, полученные с помощью теории массового обслуживания:

$$P_i(t) = P_0(t) \frac{\lambda_i(t)}{\mu_i(t)}; \quad P_0(t) = \left[1 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i(t)}{\mu_i(t)} \right]^{-1}, \quad (7)$$

где P_0, P_i – вероятности нахождения машины соответственно в исправном состоянии (ноль отказов), с отказом i -го элемента. Если учитывать только внезапные отказы, переводящие машину из работоспособного состояния в неработоспособное, то второе выражение будет соответствовать коэффициенту готовности.

Посредством показателей надежности оценивается безопасность технических систем, одной из характеристик которой является **техногенный риск**. Риск возникает в результате внезапных отказов техники, его средняя величина может быть получена как произведение потерь при наступлении неблагоприятного события на вероятность этого события. Методы расчета и снижения потерь, представленных в виде ущерба, приведены в четвертой и пятой главах.

Значения параметра старения β за календарный промежуток времени, вычисляемые для вариантов проведения мероприятий ТЭ в рабочее и нерабочее время машины отличаются, т.к. различна продолжительность периодов времени использования. Но значение параметра старения, вычисленное для машино-часа работы техники, можно считать одинаковым для обоих вариантов. Для учета отличий в динамике показателей для двух вариантов проведения мероприятий ТЭ были введены в рассмотрение коэффициенты k_{Π} и $k_{\Pi\Pi}(t)$, показывающие какая часть времени простоя приходится соот-

Для представления выражений в функции наработки T от начала эксплуатации показатель β_t заменяется на $\beta_T = \beta_t / T_0$, который оценивает количественно уменьшение коэффициента готовности машины за один машино-час.

В диссертации исследована динамика показателей надежности: внезапных отказов; средней наработки на отказ; интенсивности отказов; вероятности безотказной работы на отрезке времени ΔT (рис. 9). А также технико-экономических и экономических показателей (пятая глава): производительности, выручки, затрат, прибыли, рентабельности.

Каждому показателю задается пред-

ветственно на плановые и неплановые мероприятия в нерабочее (межсменное) время:

$$k_{\Pi} = \frac{T_{\text{ННП}}}{T_{\text{РНП}} + T_{\text{ННП}}}, \quad k_{\text{ННП}}(t) = \frac{T_{\text{ННН}}(t)}{T_{\text{РНН}}(t) + T_{\text{ННН}}(t)}. \quad (8)$$

Анализ нормативной продолжительности плановых мероприятий ТОиР показал, что расчетные значения коэффициентов можно предварительно принять равными: $k_{\Pi}=0,794$, $k_{\text{ННП}}(t)=0,5$. Расчет, выполненный для реальных производственных условий по разработанным моделям, позволил установить, что максимальное использование нерабочего времени машины для проведения технических воздействий (ТВ) при работе машины в одну смену дает следующие эффекты: увеличение годовой наработки на 8...20% и коэффициента готовности до 20%; снижение интенсивности потока внезапных отказов до 15%. Экономические критерии целесообразности проведения ТОиР в нерабочее время машины приведены в пятой главе.

В работе предложен *способ учета влияния режимов эксплуатации*. Эксплуатация строительных машин является многорежимной – сочетаются периоды более и менее интенсивной работы, простоев по организационным причинам, хранения. Значения показателей старения β_t в различные периоды будут отличаться. Динамика K_{Γ} в зависимости от чередования периодов (i) эксплуатации рассчитывается по рекуррентной формуле:

$$K_{\Gamma_i} = K_{\Gamma_{i-1}} \exp[-\beta_i(t_i - t_{i-1})]. \quad (9)$$

Проведены теоретические исследования метода повышения уровня работоспособности машины и продления, таким образом, срока службы путем проведения *капитального ремонта* (КР). Вопросы влияния КР на технико-экономические показатели машин рассматривались в работах Н.Г.Гаркави, Л.В.Дехтеринского, В.А.Зорина, А.В.Каракулева, И.А.Луйка, Б.Д.Прудовкого, Э.А.Сухарева, А.М.Шейнина и других. Влияние КР на работоспособность оценивалось по значению среднего коэффициента готовности за срок службы машины. Такой подход был предложен Б.Д.Прудовским и В.Б.Ухарским. В разработанной модели получили развитие следующие положения: учет снижения уровня восстановления машины после каждого КР; технико-экономическое обоснование уровня надежности машины, при котором ее следует направлять в КР; методы определения оптимального количества КР; обоснование экономически допустимой стоимости КР.

Уровень восстановления технического состояния машины с каждым КР уменьшается. Это уменьшение может составлять от 10 до 70% в зависимости от качества запасных частей и выполнения ремонта. Значение коэффициента готовности машины после n -го КР можно описать выражением (линия $K_{\Gamma_{\text{нач}}} - e - g$ на рис. 10):

$$K_{\Gamma_{\text{КР}n}} = K_{\Gamma_{\text{нач}}} \exp(-\beta_{\text{КР}} \cdot t_n), \quad (10)$$

межремонтный период уменьшается со временем согласно выражению:

$$\Delta t_n = -\ln \frac{K_{\Gamma_{\text{мин}}}}{K_{\Gamma_{\text{КР}n}}} \cdot \beta_t^{-1}, \quad (11)$$

где $\beta_{\text{КР}}$ – коэффициент «абсолютного» старения машины, определяющий технический уровень восстановления машины посредством КР.

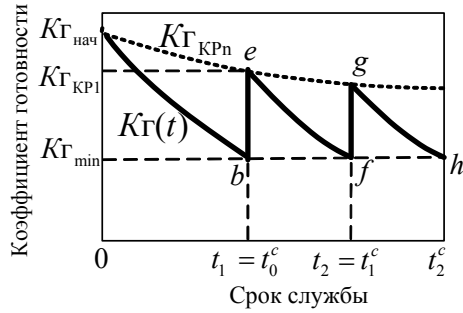


Рис. 10. Расчетная схема динамики коэффициента готовности $KГ(t)$ с проведением КР: $KГ_{нач}$ – начальное значение коэффициента готовности; $KГ_{КР1}$, $KГ_{КРn}$ – коэффициент готовности машины после первого, n -ного КР; k_{min}^r – значение коэффициента готовности, при котором машина списывается или направляется в КР; t_1, t_2 – моменты времени эксплуатации, в которые машина была направлена в КР; t_0^c, t_1^c, t_2^c – моменты времени, в которые машина должна быть списана соответственно без проведения КР, с проведением одного и двух КР

Значение реализуемого $KГ$ (среднего за срок службы машины) определяется частным от деления площади диаграммы на соответствующий срок службы:

$$\tilde{KГ}_n = \frac{1 - (n + 1)KГ_{min} + \sum_{i=1}^n KГ_{КРi}}{\beta_t \cdot t_n^c}, \quad (12)$$

где t_n^c - срок службы машины после проведения n -го количества КР, определяемый выражением

$$t_n^c = t_0^c + \sum_{i=1}^n \Delta t_i. \quad (13)$$

Динамика $KГ$ по времени:

$$KГ(t) = KГ_{КРn} \exp\left[-\beta_t \cdot (t - t_{n-1}^c)\right], \text{ если } t_{n-1}^c \leq t < t_n^c. \quad (14)$$

Методы определения $KГ_{min}$ по технико-экономической модели и оценки экономической целесообразности проведения КР рассмотрены в пятой главе.

Методика формирования парка машин с заданным уровнем работоспособности основана на положении, что эффективность парка зависит от качества техники и уровня проведения мероприятий ТЭ. Процесс формирования парка носит целенаправленный характер, и применяемые методы зависят от конкретных целей: увеличение производственной мощности парка машин, повышение коэффициента готовности, безотказности т.д. Наиболее широко для решения оптимизационных задач используется метод линейного программирования (Б.Я.Курицкий, Дж.Мур). Его применение для задач формирования парка машин описано в работах Е.М.Кудрявцева, Б.Д. Прудовского, В.Б. Ухарского и других. В диссертации данный метод получил дальнейшее развитие за счет применения разработанных моделей динамики показателей машин по времени под воздействием СТЭ, применения практически всех возможных способов обновления парка, многокритериальной оптимизации, современных вычислительных средств.

Алгоритм оптимизации состава парка следующий. Парк машин, технико-экономические характеристики которых изменяются с возрастом по определенному закону (в работе принят экспоненциальный), разбивается на возрастные группы (ВГ). Для каждой ВГ вычисляются показатели: количество машин, коэффициент готовности, наработка, рыночная стоимость реализации, условно-постоянные и переменные затраты, прибыль. Выбираются варианты обновления: покупка новых и подержанных машин; капитальный ремонт, в результате которого машина переходит в более молодую ВГ; продажа старой и покупка новой машины с доплатой; списание. Составляется математическая модель, производится расчет оптимального варианта обновления парка.

В качестве целевой функции могут быть приняты надежность показатели (коэффициент готовности парка), технические (количество машин, наработка, производительность), экономические (величина капитальных вложений, прибыль, выручка, затраты, срок окупаемости вложений) и другие. Указанные показатели могут выступать и в виде ограничений по ресурсным параметрам (см. рис. 8). Т.о. могут реализовываться любые модели списания.

Один из вариантов оптимизации обновления парка имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} Z' &= \sum_{i=1,2} \sum_j \sum_k C_{ijk} \cdot X_{ijk} - \sum_{i=3,4,5,7} \sum_j \sum_k C_{ijk} \cdot X_{ijk} + \sum_{i=6} \sum_j \sum_k Z_{кр} \cdot X_{ijk} \rightarrow \min; \\ 0 &\leq Z' \leq C_{инвест}; K_{Г} \geq K_{Гmin}; T = T_{max} \dots T_{min}; \\ X_{ijk} &\geq 0; X_{ijk} = \text{целое}, \end{aligned} \right\} (15)$$

где Z' – капитальные вложения в модернизацию парка; i – возрастная группа; j, k – типы и марки машин; C – цена покупки или продажи машин; $Z_{кр}$ – затраты на капитальный ремонт; X – количество машин; $C_{инвест}$ – ограничение по инвестициям в обновление парка; $K_{Гmin}$ – ограничение по уровню коэффициента готовности; $T_{max} \dots T_{min}$ – заданные пределы мощности парка по наработке в планируемый период.

В приведенной модели производится покупка машин первой и второй ВГ, продажа – третьей, четвертой, пятой и седьмой, капитальный ремонт – шестой.

Полученная модель представляет собой целочисленную задачу линейного программирования. Ее решение целесообразно выполнять в Excel с использованием сервисного пакета «Поиск решения». Изложенная методика позволяет оптимизировать варианты не только приобретения техники, но и сокращения парка машин. При этом минимум капвложений превращается в максимум выручаемых средств от продажи машин.

В четвертой главе «Исследование процессов формирования гибкой стратегии технической эксплуатации строительных машин» разработаны методики: формирования оптимальной СТЭ для конкретного эксплуатационного предприятия; оптимизации уровня надежности машины для определенных условий применения; оценки фактического уровня СТЭ; управления использованием машин в соответствии с их уровнем надежности; оптимизации режимов технических воздействий; оценки влияния внезапных отказов на эффективность применения машин и проведения мероприятий ТЭ по устранению последствий внезапных отказов; расчета параметров ремонтного и страхового резервирования.

Стратегия ТЭ отдельных машин формируется на базе *создания оптимальной СТЭ* для конкретного эксплуатационного предприятия. Оптимальной можно считать такую СТЭ, которая обеспечит максимальную эффективность парка машин при требуемом уровне надежности. Методика формирования оптимальной СТЭ предусматривает обоснование правильного сочетания состава мероприятий по обеспечению работоспособности машин, выполняемых собственными силами предприятия и с привлечением сторонних организаций по техническому сервису. Выбор основывается на анализе количественного и качественного состава парка машин, ресурсов предприятия. Методика реализована в информационной автоматизированной системе управления (ИА-СУ) ТЭ (шестая глава).

Формирование гибкой (индивидуальной) стратегии технической эксплуатации с целью создания условий для получения максимальной эффективности каждой машины основано на двух основных положениях: установлении требуемого уровня надежности техники для выполнения конкретного производственного задания; обеспечении требуемого уровня надежности средствами ТЭ.

новлению комплекса работ, остановленных из-за отказа машины.

Величина удельного (часового) ущерба зависит от степени ответственности выполняемой работы. Поэтому в тех случаях, когда значение возможного ущерба велико, следует применять более надежную технику. А, т.к. по мере старения снижается надежность машины и возрастают затраты на ее обеспечение, то целесообразно стареющую технику использовать на менее ответственных работах.

Разработана **модель влияния внезапных отказов на эффективность использования машины**. Величина отрицательного эффекта от действия внезапных отказов зависит от интенсивности производственного процесса и проявляется в виде прямого и сопряженного ущерба U_1 (рис. 12). Прямой ущерб от простоя в неплановых ремонтах (НР) складывается из недополученной выручки ΔB и затрат на неплановый ремонт $Z_{НР}$ (для удобства анализа показаны отдельно от остальных затрат). Влияние ТЭ на эффективность машины выражается в воздействии на ее техническое состояние (количество НР), обеспечении быстрого восстановления работоспособности ($T_{НР}$), минимизации $Z_{НР}$.

Рентабельность эксплуатации машины при n -ном количестве НР должна быть не меньше нормативного значения R_H :

$$R_n = \Pi_n / Z_n \geq R_H, \quad (17)$$

где Π_n и Z_n - прибыль и затраты при n -ном количестве НР.

Таким образом определяется максимальное количество НР, при котором машина будет оставаться рентабельной, а также другие характеристики надежности. А, т.к. НР является функцией возраста t машины, то можно найти и экономически целесообразный срок ее службы с учетом техногенного риска (ущерба).

Величина ущерба от простоев связана с **вариантами проведения мероприятий по устранению последствий внезапных отказов**. Рассмотрены три возможных случая работы машины на объекте (рис. 13):

1. Без отказов за время работы (в обозначениях наработки, выручки, затрат и прибыли индекс «1»).
2. С одним отказом и заменой неисправной машины на резервную, неисправной машине производится неплановый ремонт (индекс «2»).
3. С одним отказом и неплановым ремонтом машины (индекс «3»).

Решение о способе возобновления работы при отказе машины на объекте зависит от ряда факторов:

- предполагаемой продолжительности процесса восстановления работоспособности машины, т.е. соотношения тяжести отказа и технических возможностей ремонтной службы;
- ограничений по срокам выполнения работ;
- величины возможных сопряженных экономических, экологических, социальных, политических (престиж фирмы) и прочих потерь.

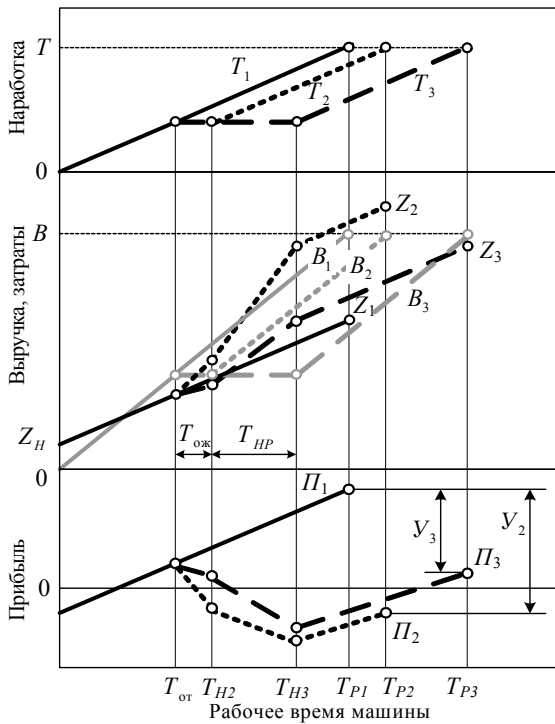


Рис. 13. Модель влияния мероприятий ТЭ на величину ущерба от внезапного отказа одной машины:

$T_{от}$ – момент времени наступления внезапного отказа; $T_{ож}$ – время ожидания начала НР и доставки резервной машины; T_{H2} – момент начала работы резервной машины на объекте по второму варианту; T_{HP} – продолжительность непланового ремонта; T_{P1} , T_{P2} и T_{P3} – моменты времени окончания работы на объекте машины соответственно по трем вариантам; Z_H – начальные затраты по обеспечению работы машины на объекте; T – объем работ на объекте в машино-часах; B , Z , Π , Y – выручка, затраты, прибыль и ущерб от простоев соответственно по трем вариантам работы

Ущерб Y вследствие отказа не ограничивается только дополнительными затратами (как обозначено на рис. 13), а включает также потерю выручки (неполученную прибыль) за время вынужденного простоя машины:

$$Y_2 = \Pi_1 - \Pi_2 + T_{ож} \cdot C_{м-ч}, \quad Y_3 = \Pi_1 - \Pi_3 + (T_{ож} + T_{HP}) \cdot C_{м-ч}. \quad (18)$$

Очевидно, третий вариант получается самым убыточным. А если имеют место и сопряженные экономические и другие потери, то минимизация времени простоев принимает еще большее значение.

Оптимизации затрат ресурсов на сокращение времени простоев служат разработанные в диссертации **модели ремонтного и страхового резервирования**, построенные с использованием теории массового обслуживания (ТМО). Применение ТМО для расчета потребности в ремонтных и резервных средствах рассматривалось в работах О.А.Бардышева, Б.Н.Бирючева, Н.Г.Гаркави, А.В.Каракулева, Б.Г.Кима, Н.В.Коценко, Е.М.Кудрявцева и других. Отличие предлагаемой методики заключается в учете влияния надежности машин, как функции срока службы, и ущерба от внезапных отказов в моделях оптимизации. Были промоделированы описанные выше варианты мероприятий по устранению последствий внезапных отказов.

Ремонтное резервирование. Поток заявок на неплановый ремонт рассматривается как простейший с ожиданием, обладающий ординарностью, стационарностью, отсутствием последействия. Потребное число ремонтных постов (РП) зависит от количества m машин, обслуживаемых одним постом. Процесс функционирования одного РП рассматривается как одноканальная замкнутая система массового обслуживания (СМО) с неограниченным временем ожидания обслуживания требований.

В качестве критерия оптимизации загрузки РП была выбрана прибыль от работы СМО, которую можно представить в виде функции количества обслуживаемых машин m и срока их службы t :

$$\Pi(t, m) = B(t, m) - Z_{РП}(t, m) - Y(t, m) \rightarrow \max, \quad (19)$$

где $B(t, m)$ – выручка от использования работоспособных машин; $Z_{РП}(t, m)$ – затраты на эксплуатацию РП; $Y(t, m)$ – ущерб от простоя отказавших машин в очереди и в обслуживании.

Путем применения ТМО получены выражения для определения составляющих

формулы (19):

$$\begin{cases} Z_{PI}(t, m) = C_{ПК} \cdot P_0(t, m) + C_{PK} \cdot (1 - P_0(t, m)); \\ Y(t, m) = (N_{оч}(t, m) + N_{сисг}(t, m)) \cdot y; \\ B(t, m) = [m - (N_{оч}(t, m) + N_{сисг}(t, m))] \cdot v, \end{cases} \quad (20)$$

где $P_0(t, m)$ – вероятность состояния СМО, при котором отсутствуют требования на обслуживание; $N_{оч}(t, m)$ – длина очереди на обслуживание; $N_{сисг}(t, m)$ – среднее количество машин, находящихся в обслуживании; $C_{ПК}$, C_{PK} – средние затраты, связанные соответственно с простоем и работой канала обслуживания в единицу времени; y и v – часовой ущерб от простоя и часовая выручка от работы одной машины соответственно.

Пример расчета для СМО со средним возрастом обслуживаемых машин пять лет графически представлен на рис. 14. Модель (20) позволяет вычислить оптимальное количество обслуживаемых машин в зависимости от степени ответственности выполняемой работы, т.к. $m_{опт}$ весьма существенно зависит от соотношения выручки от работы машины и ущерба от ее простоя в неплановых ремонтах v/y (рис. 15). Чем выше влияние ущерба, тем меньшее количество машин будет обслуживать РП для сокращения дорогостоящих простоев машин в обслуживании.

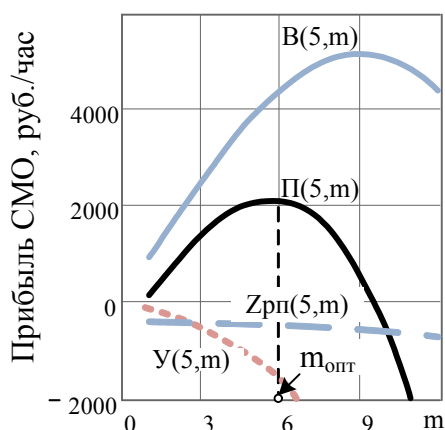


Рис. 14. Определение оптимального количества обслуживаемых машин по максимуму прибыли от работы одноканальной СМО (при $v = y$)

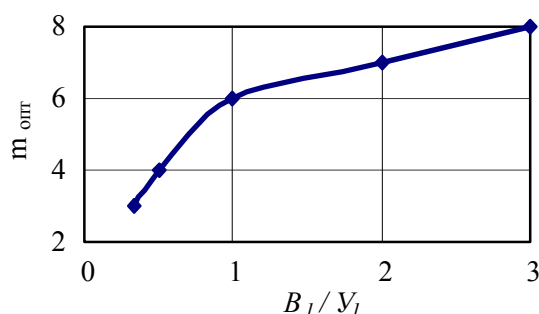


Рис. 15. Зависимость $m_{опт}$ от соотношения выручки от работы машины и ущерба от ее простоя

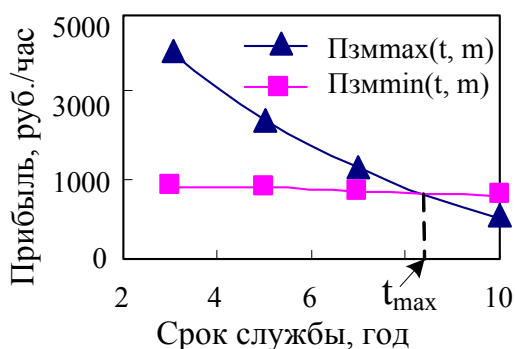


Рис. 16. Графическое определение среднего максимального возраста группы машин, обслуживаемых одним РП

Исследуя динамику максимальной прибыли от возраста обслуживаемых машин, и сравнивая ее с минимально допустимым значением прибыли по условию рентабельности

$$P_{\min}(t, m) = R_{\min} [Z_{рп}(t, m) + Y(t, m)], \quad (21)$$

можно определить максимальный срок службы техники (рис. 16). Это принципиально новый подход к расчету срока службы.

Страховое резервирование – в рассмотренный вариант СМО добавлена резервная машина. Продолжительность работы резервной машины за время простоя основной ма-

ШИНЫ

$$T_{ppm}(t, m) = T_{оч}(t, m) + T_{в} + T_{дк} - T_{дрм}, \quad (22)$$

где $T_{оч}(t, m)$ – время простоя отказавшей машины в очереди на обслуживание; $T_{в}$ – среднее время восстановления работоспособности; $T_{дк}$ и $T_{дрм}$ – среднее время доставки соответственно канала обслуживания и резервной машины (РМ), ч.

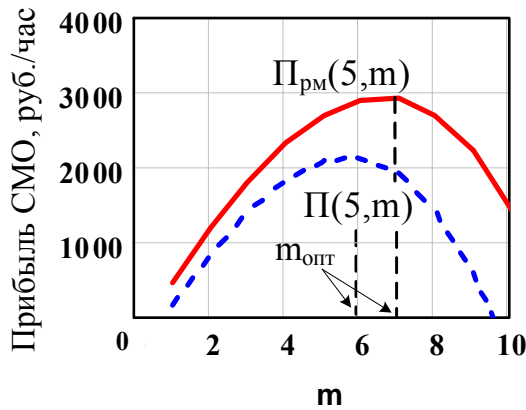


Рис. 17. Графики зависимости прибыли СМО с резервной машиной $P_{pm}(t, m)$ и без нее $P(t, m)$ от количества обслуживаемых машин

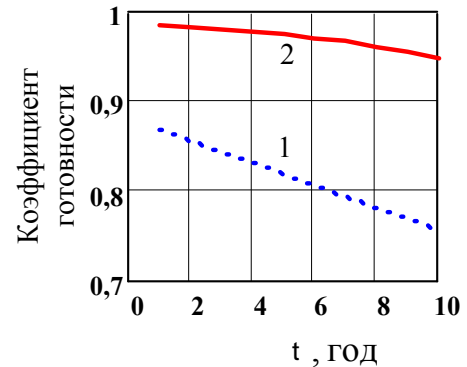


Рис. 18. Значения коэффициента готовности машин по первому и второму вариантам СМО

Применение страхового резервирования позволяет повысить оптимальное количество обслуживаемых машин одним РП (рис. 17), а также коэффициент готовности машин СМО за счет сокращения времени простоя парка машин:

$$k_{pm}^{\Gamma}(t, m) = \frac{T_{pp}(t)}{T_{pp}(t) + T_{pnh}(t, m) - T_{ppm}(t, m) \cdot HP(t)}. \quad (23)$$

Т.о., коэффициент готовности машин СМО теоретически будет не ниже 0,9, даже для машин десятилетнего возраста (рис. 18). Это весьма высокий уровень функционирования системы.

В рассмотренных стохастических моделях резервирования все обслуживаемые машины имеют одинаковое (среднее для группы машин) техническое состояние, выраженное в интенсивности потока заявок на обслуживание λ . Так было принято для упрощения аналитических вычислений. Характеристики СМО с разновозрастными машинами целесообразно определять путем *применения имитационного моделирования*. В диссертации приведен пример использования новейшей отечественной системы – AnyLogic. Результатом моделирования являются: очередь на обслуживание, коэффициент загрузки канала. Дальнейшие расчеты аналогичны описанным выше.

Обеспечение высокой работоспособности машины возможно только при условии качественного выполнения всех операций ТЭ. В диссертации разработана *методика оценки фактического уровня ТЭ*. При создании методики использовались материалы: «Методические указания по разработке и внедрению системы управления качеством эксплуатации строительных машин» (МДС 12-12.2002), разработанные Госстроем России; российские и международные стандарты; труды С.Н.Николаева, Э.А.Сухарева и других ученых. Уровень ТЭ характеризуется системой показателей качества проведения отдельных мероприятий: технического обслуживания; текущего ремонта; хранения техники; очистки масла и топлива и т.д. В свою очередь, каждый показатель зависит от нескольких определяющих факторов. При налаженной системе сбора и обработки информации можно оценивать качество выполнения самих операций, работы подразделений ТЭ, определять интегральный показатель уровня СТЭ.

Данная методика оценки уровня СТЭ включена в состав информационно-программного комплекса ИАСУ ТЭ строительных машин, описанного в шестой главе.

В диссертации впервые разработана *модель оптимального управления использованием машины* в соответствии с уровнем ее надежности. Задача оптимального использования техники состоит в распределении машин по объектам работы, соблюдая соответствие уровня надежности (УН) машин требуемому уровню надежности для конкретного объекта. Превышение УН над требуемым повлечет лишние затраты на обеспечение надежности машин. Недостаточный УН приведет к росту техногенного риска. Схема управления использованием техники по УН представлена на рис. 19. Оценка контрольных показателей производится по разработанным в диссертации моделям. Контроль УН производится по значению коэффициента готовности оператором (3). Коэффициент готовности машины $K_{Г_i}$ не должен быть меньше требуемого для j -го объекта – $K_{Г_j}$. Значение $K_{Г_i}$ определяется с учетом резервирования, как одного из методов повышения надежности парков машин. В случае выполнения условия $K_{Г_i} \geq K_{Г_j}$ машина используется на объекте работы. В противном случае производится оценка целесообразности повышения $K_{Г_i}$ методами ТЭ по уровню рентабельности R_i машины оператором (5). Если рентабельность ее применения, рассчитанная по разработанной методике с использованием данных эксплуатации (см. рис. 23, б), превышает минимально допустимый уровень R_{\min} , то производится повышение ее работоспособности методами ТЭ – оператор (6). Если $R_i < R_{\min}$, то следует избавиться от нерентабельной машины средствами оператора (7).

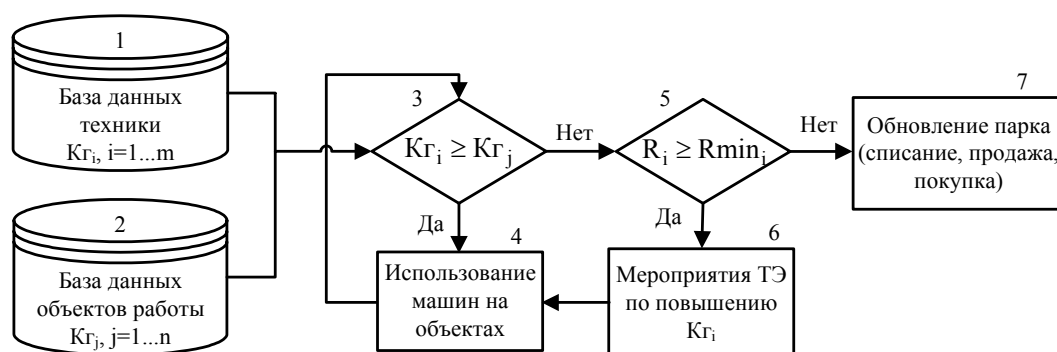


Рис. 19. Модель управления использованием техники в соответствии с уровнем ее надежности

Контроль УН в процессе использования машины производится оператором (3) путем сбора и обработки эксплуатационной информации по отказам, затратам, наработке и применения математических моделей. Контроль параметров технического состояния узлов машины осуществляется посредством диагностирования в процессе использования машины. По результатам диагностирования проводится комплекс мероприятий по обеспечению работоспособности машин оператором (6). Следует отметить, что значения контролируемых параметров технического состояния узлов служат основой для оперативного планирования мероприятий ТОиР, а уровня надежности – тактического, путем введения корректирующих коэффициентов режимов ТОиР.

По окончании работы каждого оператора информация о машине и состоянии дел на объекте работы поступает в соответствующие базы данных.

По результатам диагностирования оценивается остаточный ресурс узлов. Текущие значения $K_{Г_i}$ служат также для определения остаточного ресурса машины в целом [формула (6)].

Модель управления обеспечением работоспособности машины. Функцио-

нальная схема оператора (6) (см. рис. 19) представлена на рис. 20. Система управления техническим состоянием реализована по замкнутой схеме с комбинированным контролем – уровня надежности и параметров технического состояния машины.

От технического объекта в процессе его работы поступает на блок обработки сигналов (БОС) информация о состоянии ТОБ (данные ежедневного осмотра, технической диагностики, сведения об отказах, потребности в эксплуатационных материалах и т.п.) и характере использования (наработка, интенсивность работы, нагрузочные режимы, расход эксплуатационных материалов, погодные условия и т.д.). Эта информация поступает от машинистов, механиков, обслуживающего персонала.

БОС сравнивает результаты диагностики со значениями допустимых диагностических параметров, обрабатывает эксплуатационную информацию и пересылает данные на блок управления (БУ) для принятия решения, например, назначить время проведения или выполнить ТО, ТР, НР, доставить ГСМ, направить резервную машину для замены отказавшей, подготовить узел для замены и т.д. Мелкие неполадки устраняются машинистом непосредственно на месте работы машины, информация о них может не доходить до БУ. Функции БОС выполняют машинист, диспетчер, механик, инженер ПТО.

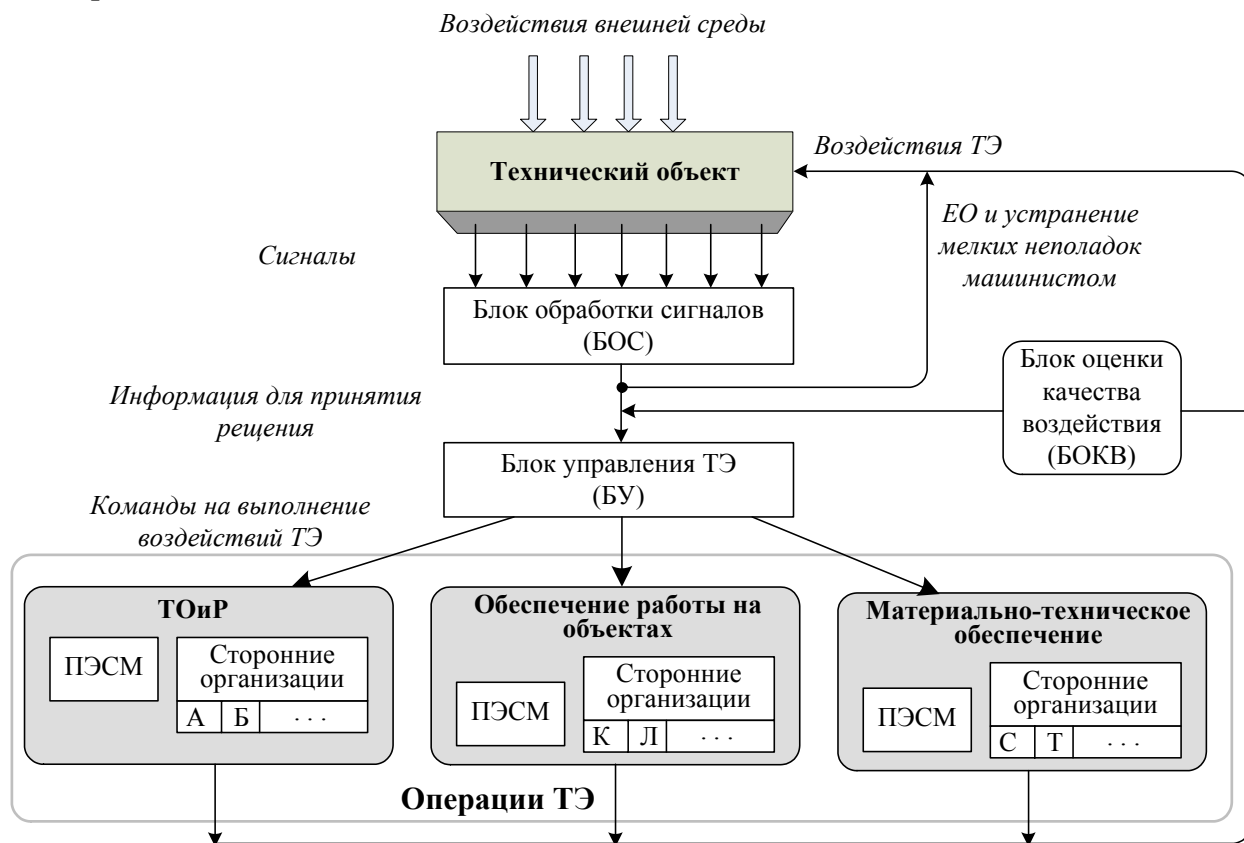


Рис. 20. Функциональная схема управления обеспечением работоспособности ТОБ

Воздействия могут проводиться собственными силами ПЭСМ или с привлечением сторонних организаций. В случае проведения работ силами ПЭСМ заявка в виде наряда на работы поступает к начальнику ремонтной службы, который распределяет работы по исполнителям. Эти работы и есть команды на выполнение воздействий.

Обеспечение работоспособности машины включает три группы мероприятий: ТОиР, обеспечение работы на объектах, материально-техническое обеспечение.

Работы ТОиР планируются и выполняются согласно выбранной стратегии ТЭ. Обеспечение работы на объектах помимо выездных плановых и неплановых операций ТОиР включает: доставку ГСМ, транспортирование машин, резервирование отказав-

шей техники. Причем оптимизация комплекса работ по возобновлению работы отказавшей машины производится в соответствии с ее техническим состоянием и требуемым уровнем надежности.

При наличии ИАСУ ТЭ большинство операций учета, планирования, распределения и оценки качества работ автоматизируется (глава 6).

Модель оптимизации режимов технических воздействий. Профилактическая стратегия ТОиР построена на проведении плановых технических воздействий (ТВ). Чем больше времени уделяется плановым ТВ, тем меньше простоев в неплановых ремонтах. Оптимальное соотношение плановых и неплановых ТВ определяется минимальной продолжительностью суммарных простоев, максимумом $K_{ТИ}$ (рис. 21). Для машин различных возрастных групп, разных условий работы оптимальным будет и различное соотношение плановых и неплановых ТВ, а также режимов их проведения. Поэтому необходима корректировка режимов проведения ТВ в соответствии с условиями использования техники.

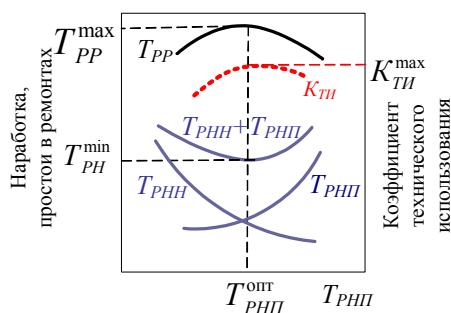


Рис. 21. Зависимость наработки и коэффициента готовности от времени $T_{РНП}$ пребывания машины в плановых технических воздействиях (ТВ): $T_{РНН}$ – время простоя в неплановых ремонтах; $T_{РН}$ – время простоя в ТВ (плановых плюс неплановых); T_{PP} – время пребывания машины в работоспособном состоянии

Корректировка режимов ТОиР в соответствии с условиями использования техники. Оптимальные состав и периодичность ТВ определяются динамикой технического состояния машины под воздействием внешней среды и внутренних факторов, а также требуемым уровнем технического состояния для конкретных условий работы. Корректировка режимов ТОиР, спланированных для средних условий эксплуатации в соответствии с нормативными документами, производится посредством корректирующих коэффициентов, учитывающих специфику работы конкретной машины. В общем виде корректировка периодичности проведения различного вида ТВ может производиться согласно формуле

$$T_i = T_i^H \prod_j \kappa_j, \quad (24)$$

где T_i^H – нормативная периодичность i -го технического воздействия; κ_j – коэффициент, учитывающий j -тый фактор специфики эксплуатации конкретной машины.

Набор факторов, описывающих специфику эксплуатации машин, практически не ограничен и может уточняться по мере развития системы ТОиР и накопления эксплуатационной информации. Наиболее влиятельные факторы отражаются следующими коэффициентами: κ_1 – возрастной группы; κ_2 – количества проведенных капитальных ремонтов; κ_3 – зоны эксплуатации; κ_4 – требуемого уровня надежности; κ_5 – интенсивности нагрузки. В диссертации разработана методика их определения.

В пятой главе «Исследование влияния процессов управления работоспособностью парка машин на его экономическую эффективность» показано влияние СТЭ на составляющие прибыли от эксплуатации техники, разработана методика управления эффективностью применения парка машин посредством факторного анализа, разработаны модели определения оптимального и экономически целесообразного срока службы техники.

Опыт внедрения результатов теоретических исследований в практику работы ПЭСМ показал, что руководителей предприятий интересует в первую очередь экономическое обоснование предлагаемых решений. Поэтому возникла необходимость разработки методики совершенствования СТЭ, построенной на использовании экономических показателей (в отличие от второй главы, в которой данная методика построена на использовании показателей надежности).

Программно-целевой анализ эффективности применения строительных машин. Для исследования влияния подсистем ПЭСМ на его эффективность был использован программно-целевой анализ. Главной целью существования ПЭСМ является эффективное использование строительных машин. Экономическим выражением результата достижения цели (показателем экономической эффективности), может выступать прибыль от применения парка машин, включающая три составляющих:

$$P(t) = B(t) - Z(t) - Y(t) \geq P_{\min}, \quad (25)$$

где $B(t)$, $Z(t)$ – соответственно выручка от эксплуатации парка машин и затраты на его содержание за расчетный период; $Y(t)$ – величина ущерба, вызванная внезапными отказами техники; P_{\min} – минимально допустимая норма прибыли; t – возраст эксплуатируемого оборудования.

Воздействие подсистем ПЭСМ на составляющие прибыли показано на рис. 22. Каждая линия связи описывается соответствующей математической моделью.

Подводя итог программно-целевого анализа ПЭСМ и группируя рассмотренные модели по сферам воздействия, формируем комплекс моделей повышения эффективности применения строительных машин под воздействием СТЭ, аналогичный полученному в результате исследования влияния СТЭ на надежность парка машин (см. рис. 7). Следует отметить, что модель формирования наработки парка машин (см. рис. 4) можно рассматривать как фрагмент приведенной на рис. 22 программно-целевой модели.

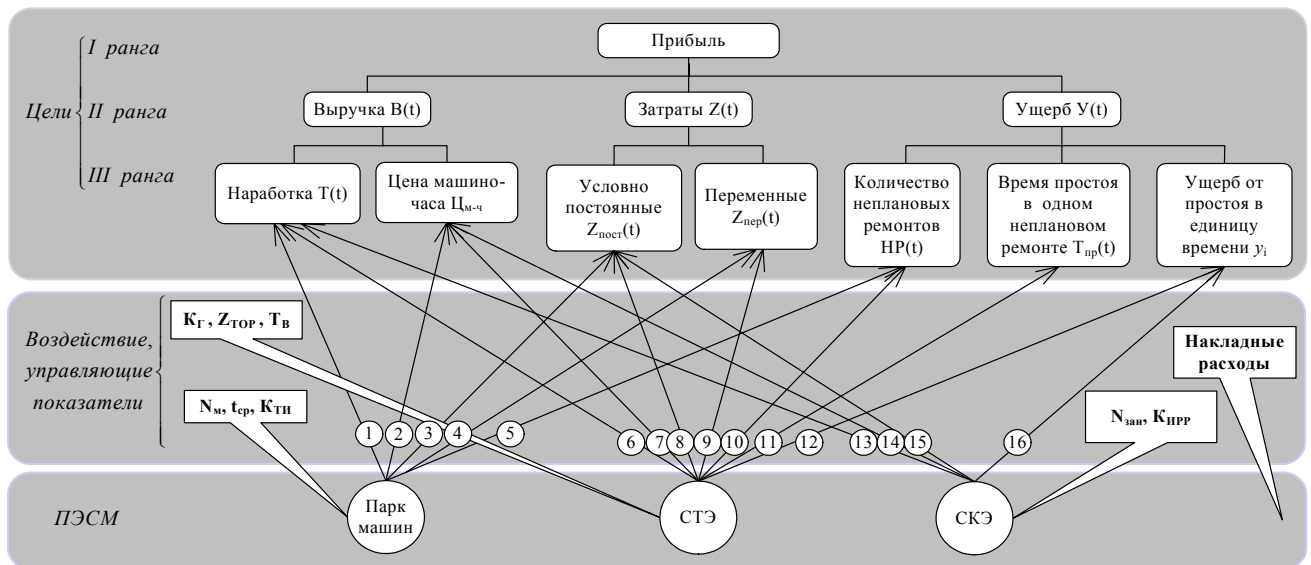


Рис. 22. Программно-целевая модель формирования прибыли ПЭСМ: СТЭ – система технической эксплуатации; СКЭ – система коммерческой эксплуатации; N_m – количество машин в парке; $t_{ср}$ – средний возраст парка машин; $N_{зан}$ – количество занятых в работе машин; $K_{ТИ}$ – коэффициент технического использования парка машин; $K_{ИРР}$ – коэффициент использования работоспособных машин; $Z_{ТОР}$ – затраты на техобслуживания и ремонты; T_B – среднее время восстановления работоспособности машины после отказа

Факторный анализ. В диссертации разработана методика исследования эффективности ПЭСМ с помощью *факторного анализа*. Как установлено в ходе программно-целевого анализа, основными факторами, влияющими на эффективность ПЭСМ являются: наработка парка машин за рассматриваемый период, цена машино-часа, условно-постоянные и переменные затраты. Путем воздействия на факторы методами ТЭ можно управлять эффективностью предприятия. На основе факторного анализа разработаны модели для решения ряда важных производственных задач: влияния коэффициента готовности парка, среднего возраста машин парка на уровень рентабельности его эксплуатации; допустимого и оптимального уровня затрат на ТОиР; допустимого количества простаивающей техники, исходя из заданного уровня рентабельности ПЭСМ; влияния внешних условий на эффективность эксплуатации строительных машин (рост цен на топливо, изменения в налогообложении и т.д.); планирования уровня рентабельности на определенный период времени с учетом простоев техники в ремонтах.

Исследование динамики экономических показателей строительных машин под воздействием СТЭ. Основными экономическими показателями эксплуатации строительных машин являются: выручка от предоставления техники организациям, условно-переменные и постоянные затраты, прибыль, рентабельность. Как и в третьей главе для исследования показателей надежности и работоспособности машин, в пятой главе рассмотрены два крайних варианта проведения технических воздействий: только в рабочее время машины и по максимуму в нерабочее.

Разработаны модели определения оптимального срока службы машин по экономическим критериям – минимуму удельных затрат, максимуму удельной прибыли, максимуму накопленной прибыли, максимуму рентабельности, заданному уровню рентабельности (рис. 23).

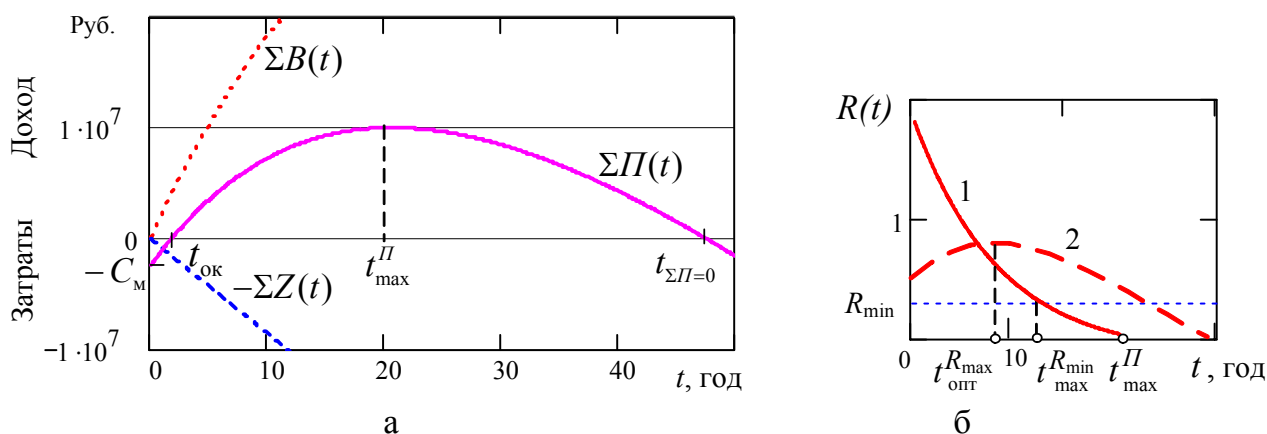


Рис. 23. Динамика накопленной прибыли $\Sigma\Pi(t)$ (а) и рентабельности $R(t)$ (б) за срок службы машины: $\Sigma B(t)$, $\Sigma Z(t)$ – накопленные выручка и затраты; C_m – стоимость новой машины; $t_{ок}$ – срок окупаемости; t_{max}^{Π} – срок службы по максимуму накопленной прибыли; $t_{\Sigma\Pi=0}$ – срок службы, при котором затраты на поддержание работоспособности машины «съедят» всю прибыль; $t_{max}^{R\ min}$ – максимальный срок службы по минимально допустимому уровню рентабельности R_{min} ; $t_{опт}^{R\ max}$ – оптимальный срок службы по максимальному уровню рентабельности R_{max} ; линии 1 и 2 (б) соответствуют равномерному и ускоренному (с коэффициентом два) методам расчета амортизационных отчислений

Рассмотренная методика предусматривает различные экономические модели

формирования затрат: возможные методы расчета амортизационных отчислений (прямолинейный, ускоренный, производственный и т.д.); расчет постоянной составляющей затрат для разных вариантов приобретения техники (единовременная оплата, в рассрочку, в кредит, лизинг, аренда и т.д.).

Моделирование использования нерабочего времени машины для проведения ТОиР. Максимальное использование нерабочего времени машины (расчет выполнен для продолжительности нерабочего времени равного одной смене в сутки) для проведения ТВ при работе машины в одну смену дает следующий эффект (в дополнения к эффектам повышения показателей и работоспособности, указанным в третьей главе): рост годовой прибыли на 10...50%; увеличение накопленной прибыли в 3,4 раза за срок службы машины; сокращение срока окупаемости на 24%; возрастание срока службы на 43,5% по критерию равенства годовой выручки и затрат; сокращение минимальных удельных приведенных затрат на 13,5%; увеличение рентабельности эксплуатации машины на 10...50%; сокращение наработки на 0...10% для достижения безубыточности эксплуатации машины.

Исследование технико-экономической целесообразности проведения капитального ремонта. В третьей главе был показан подход к проведению КР с точки зрения повышения надежности и работоспособности машин. Однако, оценка целесообразности проведения КР без исследования его влияния на экономические показатели будет неполной. КР будет иметь смысл с экономической точки зрения, если затраты на повышение работоспособности машины посредством КР принесут существенно большую прибыль по сравнению с вариантом эксплуатации без КР.

Величина затрат с начала эксплуатации машины определяется с учетом издержек на приобретение и КР:

$$\sum Z(t, n) = C_m + \sum Z_n(t) + nZ_{\text{КР}} + (3 + Z_{\text{доп}}) \cdot (t^c + nt_{\text{КР}}), \text{ если } t_{n-1}^c \leq t < t_n^c, \quad (26)$$

где C_m – затраты на приобретение машины; $Z_n(t)$ – эксплуатационные затраты по межремонтным циклам; $Z_{\text{КР}}$ – затраты на КР²; 3 – заработная плата машинистов; $t_{\text{КР}}$ – продолжительность пребывания в КР; $Z_{\text{доп}}$ – дополнительные издержки (налоги, страховки и пр. выплаты), пропорциональные сроку службы машины; n – количество КР.

Оптимальное количество КР может быть определено по минимуму удельных затрат или максимуму накопленной (рис. 24) и удельной прибыли.

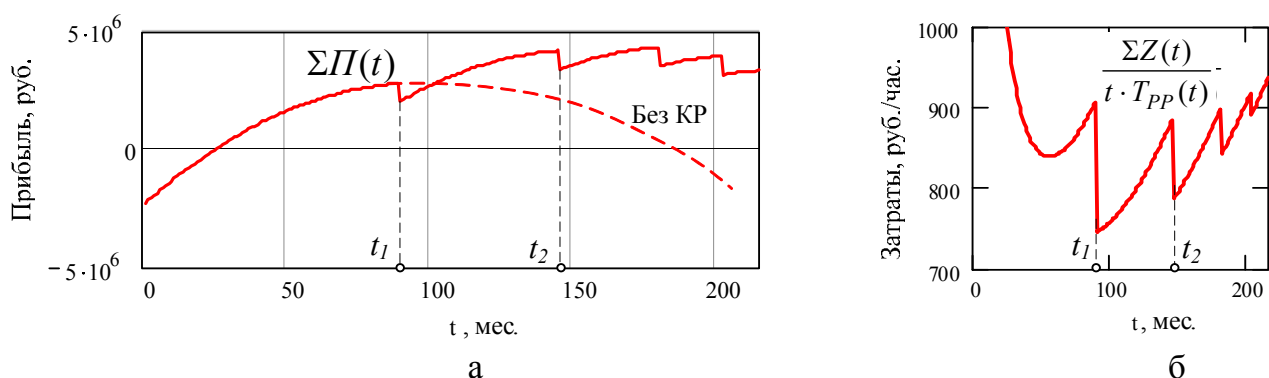


Рис. 24. Динамика накопленной прибыли (а) и удельных затрат (б) за срок службы машины с проведением КР: t_1, t_2 – время проведения первого и второго КР по критерию $K_{\Gamma_{\min}}$ (см. рис. 10)

² Затраты на КР включают в себя непосредственно стоимость КР, затраты на перебазировку машины к месту ремонта и обратно и сопряженные экономические потери, связанные с недополучением прибыли за время простоя в ремонте.

Максимальная стоимость КР по условию превышения прибыли по сравнению с безремонтным вариантом

$$Z \max_n = \left[B_n - \sum Z_n(t) - C_m - 3 \cdot (t_n^c + n \cdot t_{KP}) - P_0 \right] / n, \quad (27)$$

где P_0 – прибыль без проведения КР.

В шестой главе «Разработка информационной автоматизированной системы управления технической эксплуатацией строительных машин» (сокращенно ИАСУ ТЭ) реализованы результаты исследований предыдущих глав в виде интегрированных в ИАСУ информационных математических моделей (ИИММ) процессов ТЭ, создана ИАСУ, в полной мере соответствующая современным методам ТЭ. ИАСУ не только обеспечивает автоматизацию основных процессов планирования и управления ТЭ, но и выбор оптимальных управленческих решений путем использования ИИММ. В главе разработаны требования к ИАСУ данного назначения, структура, функциональная схема, состав программных модулей, структура базы данных для обеспечения ТЭ каждой строительной машины, аналитические и отчетные формы, методика внедрения ИАСУ в производство, описан опыт внедрения и перспективы развития.

ИАСУ ТЭ является совместной разработкой Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, выполненной с участием автора, и НПП «СпецТек». В ИАСУ реализована основная идея диссертации – создать систему управления работоспособностью машинным парком, совершенствующуюся по мере развития науки и техники, отвечающую современным концепциям эксплуатации, работающую на всех этапах жизненного цикла машин, обеспечивающую наибольшую эффективность их применения.

Функциональная схема ИАСУ состоит из двух основных частей – программной части и базы данных. Программная часть выполняет основные функции по управлению ТЭ (планирование, обеспечение ресурсами, сбор и анализ информации, контроль, прием и передача данных), оперируя информацией, поставляемой базами данных.



Рис. 25. Структура информационной базы технической эксплуатации строительной машины

База данных (БД) формируется в процессе паспортизации машин и оборудования и продолжает пополняться при эксплуатации ИАСУ. Именно полнота БД опреде-

ляет в значительной степени функциональные возможности ИАСУ и оптимальность решений в планировании мероприятий ТЭ. Создание БД составляет наиболее трудоемкую часть работ по производственному внедрению ИАСУ. В диссертации разработана структура базы данных для ИАСУ и форма «Информационной базы технической эксплуатации» для подачи заявки на авторское право.

По принадлежности состав БД можно разделить на три блока (рис. 25) – информация о машине, системе ее ТЭ и эксплуатационном предприятии. Часть БД, относящаяся к машине (выделена серым цветом), может быть полностью укомплектована информацией до установки программной части в информационную сеть предприятия. Следует отметить, что на рынке информационных продуктов (ИП) отсутствуют БД строительных машин в виде, готовом для использования в информационных системах управления эксплуатацией. Поэтому СПбГАСУ инвестирует средства в создание таких БД. Работы проводятся при участии автора. Созданные БД защищены авторским правом и являются интеллектуальной собственностью СПбГАСУ.

Программная часть ИАСУ имеет модульную структуру. Типовой набор для предприятий, эксплуатирующих технику, содержит следующие модули:

- *Техобслуживание* (учет наработки машин, отказов, затрат ресурсов, планирование работ по обслуживанию и ремонту, формирование ремонтной и эксплуатационной документации);

- *Каталог* (описание структуры ОПФ, работа с электронным справочником запасных частей и материалов, базой данных графических изображений узлов оборудования, ведение справочников производителей и поставщиков);

- *Склад* (формирование заявок на закупку запасных частей и материалов, оформление складских приходных документов, размещение запасных частей по местам хранения, учет остатков складских запасов, списание запасных частей при выполнении работ по техобслуживанию, формирование актов инвентаризации и списания);

- *Документооборот* (ведение электронной эксплуатационной и ремонтной документации, разработка новых инструкций, параллельное ведение электронной и бумажной документации).

- *Администратор* (содержит ДБ – «Сотрудники», «Штатное расписание», «Должностные инструкции». Распределяет производственные функции и режимы доступа в ИАСУ).

Формирование оптимальной СТЭ для конкретного предприятия и гибкой стратегии ТЭ. Данный процесс происходит в ходе адаптации ИАСУ к конкретному предприятию. К каждой работе ТОиР привязываются требуемые запчасти, материалы, трудовые, временные и др. ресурсы, необходимая ремонтная документация. Производится детальная проработка технологии каждой операции ТОиР: выбор современной технологии, подбор оборудования, документации, контролируемых параметров, средств контроля, формирование состава рабочих бригад, форм учета и отчетности, оценки временных и материальных затрат, контроля качества проведения операций ТОиР.

На данном этапе формируется *оптимальная стратегия ТЭ для конкретного эксплуатационного предприятия* путем: оптимизации ремонтных мощностей на основе интегрированных информационных моделей и эксплуатационной информации; разделении операций ТОиР на выполняемые собственными силами и специализированными предприятиями.

Именно на данном этапе работы закладываются основы *гибкой (индивидуальной) стратегии ТЭ*. Для каждой машины формируется свой регламент работ в соответствии с ее возрастом, конструктивными особенностями, характером использования, особыми требованиями. Используется комплекс стратегий формирования ТОиР (планово-

предупредительная по наработке, календарному времени работы, уровню надежности, техническому состоянию, превентивная, гарантийная, фирменная, по факту отказа, сезонная, по времени прохождения технического контроля, по требуемому уровню безопасности).

Управление техническим состоянием машин, реализуется по методике, разработанной в четвертой главе, а именно, по замкнутой схеме с комбинированным контролем технического состояния – по уровню надежности и по значениям контролируемых параметров.

Опыт внедрения ИАСУ. В 2007 г. ИАСУ внедрена в Управлении механизации – филиале ОАО «Метрострой» г. Санкт-Петербурга (сведения о внедрении системы: www.trim.ru/content/view/352/2). Можно выделить пять основных этапов внедрения ИАСУ. *Первый этап* предусматривает анализ организации системы технической эксплуатации на предприятии с точки зрения наиболее рациональной адаптации ИАСУ к ее структуре. Первый этап заканчивается разработкой технического задания на интеграцию ИАСУ в систему управления эксплуатацией машин.

На втором этапе устанавливается базовая, программная часть ИАСУ, программы-конверторы для обмена данными с другими АСУ («Бухгалтерия», «Склад» и т.д.), формируется сетевая структура с необходимым количеством пользователей, производится обучение персонала. Для Управления механизации были организованы три пользователя: главный инженер, начальники ПТО и службы материально-технического снабжения.

На третьем этапе производится разработка баз данных по запчастям, материалам, режимам ТОиР для каждой единицы техники (если в комплект поставки не входят готовые БД по машинам) и интеграция их в программную оболочку. Составление БД производится постадийно для обеспечения наискорейшего ввода ИАСУ в работу. Сначала вводятся режимы плановых операций ТОиР для возможности автоматизации их планирования. Практически все ИАСУ ТОиР, применяемые в области эксплуатации строительных машин, ограничиваются выполнением только этой функции. Затем составляются электронные каталоги запчастей и материалов на основе документов, предоставляемых производителем машин. На этой стадии ИАСУ способна присоединять к операциям ТОиР необходимые запчасти и планировать потребность в них. На последней стадии составления БД в нее заносятся данные по объектам ТОиР, средства и ресурсы для выполнения работ ТОиР – состав рабочих бригад, перечень и технология выполнения работ, трудоемкость по каждому исполнителю, документация, материалы, инструменты, оборудование, средства контроля и т.д.

В результате ИАСУ получает возможность функционировать почти в полном объеме. Трудоемкость составления БД по одной машине составляет от ста до четырехсот человеко-часов работы в зависимости от сложности техники и распределяется по стадиям в примерном соотношении 1:4:3.

На четвертом этапе производится составление электронных форм документации для ввода данных, управления, учета и отчетности. Электронные формы повторяют в основном бумажные, принятые на предприятии. Также на этом этапе дорабатывается БД по выполнению неучтенных в третьем этапе операций технической эксплуатации: проведению неплановых ремонтов, корректировке планов ТОиР, анализу качества выполнения операций, обработке эксплуатационной информации по наработке, отказам, техническому состоянию машин и т.п. БД дополняется документацией для ТОиР: инструкциями по выполнению отдельных видов работ, нормативными документами, штатным расписанием и т.д. В итоге БД должна содержать всю документацию по работе предприятия, эксплуатирующего строительные машины.

Пятый этап можно назвать «опытная эксплуатация» ИАСУ. На этом этапе про-

изводится составление инструкций по работе с ИАСУ, производится окончательное обучение персонала.

Расширение функций ИАСУ. По своим возможностям и назначению ИАСУ относится к типу информационных систем ЕАМ (Enterprise Asset Management, по западной классификации – системы комплексного управления основными фондами) и поэтому способна управлять не только технической эксплуатацией машин, но и всеми фондами предприятия. Для этого БД пополняется информацией обо всех основных фондах (зданиях, сооружениях, оборудовании, инструментах и т.д.).

Для расширения функций ИАСУ может быть дополнительно оснащена модулями «Система снабжения и сбыта», «Бюджет», «Персонал», «Диспетчерский журнал» и другими.

Интегрированная логистическая поддержка жизненного цикла продукции. В 2007 году разработано техзадание на создание ИАСУ для интегрированной логистической поддержки (ИЛП) жизненного цикла тракторов, выпускаемых ОАО «Кировский завод» (ЗАО «Агротехмаш», генеральная сбытовая компания ЗАО «Петербургский тракторный завод – дочернее предприятие ОАО «Кировский завод»). ЗАО «Агротехмаш» планирует создание сети дилерских и сервисных центров по реализации и обслуживанию своей продукции – промышленных и сельскохозяйственных тракторов. ИАСУ ИЛП объединяет несколько ИАСУ ТЭ фирменных сервисных центров, обеспечивает централизованный сбор и обработку информации об эксплуатации поставляемой техники, определяет потребность в запчастях и материалах.

Разработчики ИАСУ считают, что целесообразно снабжать поставляемую технику готовой ИАСУ ТЭ. Это позволит создать качественную СТЭ и в самостоятельных региональных центрах.

Использование в учебном процессе. На базе ИАСУ ТЭ создан учебный тренажер, на котором студенты СПбГАСУ выполняют практические задания по курсу «Эксплуатация строительных машин».

Приложения. Часть исследований, относящаяся к совершенствованию *технологических* процессов ТЭ, была вынесена в «Приложение», как рассматривающая несколько иной круг вопросов, чем основная часть диссертации, посвященная *организационным* процессам ТЭ.

В «Приложении» приведены исследования в области повышения надежности гидропривода, как одного из элементов, лимитирующих надежность машин. Многочисленные исследования, в том числе и наши, свидетельствуют, что до 50% и более отказов приходится на гидроприводы. Восстановление же работоспособности гидроприводов, особенно после внезапных отказов, для выяснения причины которых необходимо проведение диагностирования, относится к самым трудоемким операциям, требующим высокой квалификации работников. Поэтому исследования были направлены на разработку мероприятий по уменьшению и количества отказов, и времени ремонта.

Одной из основных эксплуатационных причин отказов элементов гидросистем является повышенная загрязненность рабочей жидкости. В целях сокращения влияния этой причины была разработана **методика создания системы качества эксплуатации рабочей жидкости** (СКЭРЖ), исследован метод повышения чистоты гидросистем путем их промывки с очисткой гидробаков. Для уменьшения времени простоев в ремонте был создан компактный гидротестер с автоматической коррекцией показаний на вязкость жидкости.

Научные исследования в направлениях повышения чистоты и диагностики гидросистем являются традиционными для кафедры транспортно-технологических машин (ТТМ) СПбГАСУ. По данным направлениям с 1967 г. было защищено более 30 канди-

датских диссертаций под руководством доцента Седлухи Георгия Андриановича и профессора Алексеенко Петра Демьяновича.

СКЭРЖ предусматривает очистку и контроль РЖ на всех этапах ее эксплуатации: при поставке, хранении, подаче и заправке в гидросистему, работе гидропривода, обслуживании и ремонте. Обязательна также промывка гидросистем после заводской сборки и текущего ремонта. В фирменных сервисных центрах поставка РЖ производится, согласно стандартам серии ИСО 9000, в герметически закрытых емкостях. Устройства для заправки жидкости в гидросистему также исключают попадание загрязняющих примесей. РЖ для отечественной техники разливается на нефтебазах в бочки заказчика или доставляется потребителю автоцистернами. В 70% случаев количество механических примесей в РЖ уже превышает допустимые нормы по ГОСТ 17216-2001. Жидкость перед заправкой в машины, как правило, не очищается, хотя промышленностью выпускается специальное оборудование для очистки, обезвоживания и заправки РЖ. Поэтому, как установлено нашими исследованиями, проведенными в 2002...2005 гг., содержание загрязняющих примесей в гидросистемах экскаваторов и передвижных кранов составляет в среднем 0,022% по массе, что превышает в 4,5 раза допустимое значение. В 70...80-е годы XX века стараниями кафедры ТТМ в большинстве УМ г. Ленинграда были внедрены элементы СКЭРЖ. В настоящее время лишь в четырех «старых» УМ поддерживается данная система эксплуатации РЖ. В более молодых УМ, образовавшихся за последние десять лет, не уделяется должного внимания созданию фундаментальной СТЭ, т.к. считают ее второстепенной в деле получения прибыли.

В диссертационной работе СКЭРЖ получила дальнейшее развитие на основании требований стандартов серии ИСО 9000, изучения опыта работы фирменных сервисных центров, анализа нового оборудования для эксплуатации РЖ, использования ИТ. В частности, разработана методика эксплуатации РЖ (МЭРЖ), включающая базу данных ее движения и с фиксацией состояния при поступлении на склад ГСМ, хранении, заправке, принятых мерах по обеспечению чистоты, оценки уровня эксплуатации. МЭРЖ включена в состав ИАСУ ТЭ. Теоретически и экспериментально обоснованы режимы процессов промывки, изготовлен промышленный образец установки и внедрен в производство. В процессе исследования были предложены конструкции гидробаков (ГБ), отвечающие условиям работы строительных машин (а.с. № 1366243), устройств для промывки ГБ (а.с. №№ 1079315, 1153437, 1296239, 1397100, 1697915), центробежных очистителей жидкости (а.с. №№ 957929, 957970), установок для промывки гидросистем (а.с. №№ 997742, 1097396) и прибора для анализа загрязненности РЖ (а.с. № 1082491).

Исследование динамики загрязненности гидросистем в процессе работы экскаваторов показало, что примерно через полчаса после начала работы машины количество механических примесей в РЖ резко возрастает. Причиной этого явления оказалось взмучивание осадков со дна гидробаков, которые вследствие конструктивных недостатков не могут удерживать осевшие загрязнения. Поэтому необходимо периодически проводить очистку ГБ, которую наиболее целесообразно приурочить к ТР и совместить с промывкой и опрессовкой гидросистем.

В процессе создания установки для промывки гидросистем с очисткой гидробаков (УПГБ) были проведены исследования осадков гидробаков: количественный и качественный состав, прочностные характеристики. Было установлено, что в ГБ экскаваторов количество осадка находится в пределах от 10 до 380 г и подчиняется нормальному закону распределения со средним статистическим, равным 172,8 г. Толщина слоя осадка, как правило, не превышала 5 мм, но в отдельных случаях в углах достигала 10...12 мм. Распределение размеров частиц подчиняется экспоненциальному закону. 42% составляют частицы размером 10...40 мкм, которые соизмеримы с зазорами в па-

рах трения гидроагрегатов и поэтому оказывают наибольшее влияние на износ, причем от 70 до 80% приходится на частицы кремния, твердость которых значительно превышает твердость поверхностей трения агрегатов, что также вызывает повышенный износ.

Экспериментально было установлено, что наиболее рационально очищать ГБ затопленной струей РЖ, причем для эффективного разрушения осадка струя должна создавать давление, превышающее несущую способность его слоя. Напряженное состояние массива загрязнений с плоской поверхностью на дне ГБ, находящегося под действием динамического давления затопленной струи, представляет собой задачу о предельном равновесии слоя связной сыпучей среды. Теоретически была получена математическая модель напряженного состояния диска связного материала, которая содержит дифференциальные уравнения линий скольжения

$$dz = dr \cdot \operatorname{tg}(\varphi \mp \varepsilon), \quad (28)$$

где $(\varphi \mp \varepsilon)$ – углы наклона линий скольжения к оси r ; φ – угол наклона главного нормального напряжения к оси r .

А также напряжений

$$d\sigma + 2\sigma \cdot \operatorname{tg}\rho \cdot (\mp d\varphi - A) = 0, \quad (29)$$

где

$$A = \frac{1}{2r} \cdot [k \cdot dz \mp \operatorname{ctg}\rho \cdot (1 - k) \cdot dr], \quad (30)$$

где ρ – плотность осадка (2850 кг/м³); k – теоретический коэффициент, зависящий от параметров слоя осадка, его взаимодействия с разрушающей струей РЖ и подстилающей поверхностью.

Численное решение системы уравнений (28)...(30) методом конечных разностей позволило получить значение критического давления на поверхность слоя осадка, вызывающего пластическое разрушение. Экспериментальные исследования подтвердили правильность теоретических расчетов.

С использованием теории планирования эксперимента был исследован процесс очистки поверхности затопленной струей рабочей жидкости. Варьировались пять факторов: диаметр сопла очистного устройства, давление жидкости перед соплом, расстояние от сопла до очищаемой поверхности, угол атаки струи, скорость перемещения сопла. По результатам экспериментов была построена математическая модель производительности процесса очистки поверхности. Путем исследования модели были найдены оптимальные технологические параметры процесса. На основании анализа скоростного поля жидкости в рабочей зоне землесоса была выведена формула для определения радиуса зоны всасывания разрушенных осадков в заборное устройство.

Для очистки жидкости в установке был применен центробежный очиститель повышенной грязеемкости, созданный путем доработки хорошо зарекомендовавшей себя центрифуги ЦГ-1515 конструкции ЛИСИ. Для обслуживания строительных машин в УМ была разработана установка для промывки гидросистем с очисткой гидробаков УПГБ-1. Теоретически была обоснована технология промывки гидросистем с очисткой ГБ. Промышленный образец установки был внедрен в пятнадцати строительных организациях.

Для диагностирования гидроприводов в полевых условиях были разработаны вискозиметр, встраиваемый в гидросистему, и переносной гидротестер, автоматически корректирующий влияние вязкости жидкости на показания. Оба устройства были защищены а.с. на изобретения.

Принцип действия вискозиметра основан на измерении расхода жидкости, проходящей под давлением через капилляр, путем выдвижения поршня со шкалой на што-

ке. Была составлена математическая модель, связывающая параметры прибора с пределами и точностью измерения вязкости.

Данный вискозиметр был вмонтирован в конический дроссель-расходомер конструкции СПбГАСУ для управления дросселем-компенсатором (ДК), перепускающим 1...10% потока жидкости параллельно основному дросселю. ДК имеет коническую иглу с криволинейной образующей конуса, связанную с поршнем вискозиметра и перекрывающую по мере выдвижения часть круглого отверстия ДК. Изменение площади отверстия происходит по заданному закону, зависящему от формы конуса. Измерение расхода жидкости прибором происходит в два этапа. На первом этапе производится измерение вязкости способом, описанном выше, с одновременной корректировкой прибора путем открытия ДК на величину, пропорциональную вязкости. На втором этапе происходит измерение расхода обычным способом. Благодаря корректировке точность измерения расхода повышается с 2...5% до 0,5...2%. Была составлена теоретическая модель для вычисления конструктивных параметров прибора.

«Приложение» содержит также акты внедрения, отзывы организаций, примеры расчета на ЭВМ характеристик ТЭ по разработанным в диссертации моделям.

Заключение

Теория и практика организации системы технической эксплуатации строительных машин не позволяет достаточно гибко адаптировать ее к изменяющимся условиям. Существующие методы организации СТЭ направлены на совершенствование лишь отдельных процессов и не могут решать задачу комплексно. Не решена проблема определения оптимального уровня надежности для конкретных случаев применения машин и обеспечения этого уровня методами ТЭ. Отсутствует решение проблемы создания оптимальной СТЭ для конкретного эксплуатационного предприятия.

Настоящая работа направлена на раскрытие механизмов влияния СТЭ на эффективность применения отдельных машин и парков, исследование процессов формирования эффективности самой СТЭ, на сближение теоретических моделей с реальными процессами технической эксплуатации и реализацию результатов исследований в виде информационной автоматизированной системы управления технической эксплуатацией.

По результатам настоящей работы могут быть сделаны следующие выводы:

1. На основании анализа теоретических исследований и практического опыта в области технической эксплуатации строительных и других машин выявлены и сформулированы проблемы, препятствующие достижению максимальной эффективности применения машин, установлены критерии эффективности СТЭ, намечены направления и методы решения проблем, положенные в основу перечня задач, решаемых в диссертации.

2. В работе выполнен системный анализ технической эксплуатации, позволивший: установить механизмы влияния СТЭ на эффективность применения строительных машин; разработать систему показателей работоспособности парка машин, характеризующих уровень функционирования отдельных сторон СТЭ; представить СТЭ как подсистему предприятия по эксплуатации строительных машин и показать вклад СТЭ в общую эффективность работы предприятия; разработать комплекс моделей влияния СТЭ на обеспечение эффективности применения строительных машин, который представляет собой основу программы совершенствования СТЭ.

3. Новые результаты теоретических исследований в области управления работоспособностью машин методами ТЭ представлены математическими моделями, входящими в указанный комплекс моделей: возрастной динамики надежностных и технико-экономических показателей под воздействием мероприятий ТЭ; управления техническим состоянием и продления сроков службы строительных машин посредством капи-

тальных ремонтов; формирования парков машин с заданным уровнем технического состояния; страхового и ремонтного резервирования.

4. В моделях возрастной динамики надежностных и технико-экономических показателей под воздействием мероприятий ТЭ рассматриваются два крайних варианта проведения операций ТОиР: только в рабочее время машины и по максимуму в нерабочее время – это все операции ТО и часть ТР и НР. Расчет, выполненный по разработанным моделям для реальных производственных условий показал, что проведение операций ТОиР в нерабочее время увеличивает годовую наработку на 8...20%, прибыль – на 10...50%.

5. Предложен метод учета влияния режимов эксплуатации, характеризующихся сочетанием периодов более и менее интенсивной работы, простоев по организационным причинам, хранения, на динамику показателей работоспособности.

6. Разработана методика определения целесообразности проведения КР на основании: моделирования динамики надежностных и технико-экономических показателей техники под воздействием КР; оптимизации сроков проведения КР; определения оптимального срока службы машин при использовании КР; обоснования максимально допустимой стоимости КР.

7. Разработана многокритериальная модель формирования оптимального состава парка машин заданной производственной мощности и уровня работоспособности с учетом возрастной структуры. Модель позволяет формировать парки машин, ориентируясь на критерии: заданного уровня надежности, наработки, производительности; минимума капвложений и срока их окупаемости; максимума прибыли от работы машин.

8. Разработанные в диссертационной работе новые положения по формированию гибкой СТЭ строительных машин базируются на моделях: оптимального уровня надежности техники для выполнения конкретного производственного задания; управления использованием техники в соответствии с уровнем ее надежности; управления обеспечением работоспособности машин с контролем уровня надежности и параметров технического состояния; оптимизации соотношения продолжительностей времени пребывания машины в плановых и неплановых технических воздействиях по критерию максимального значения $K_{ти}$; корректировки режимов ТОиР в соответствии с возрастом техники и условиями использования; оценки фактического уровня ТЭ; влияния внезапных отказов на эффективность применения машин; оптимизации вариантов проведения мероприятий ТЭ по сокращению времени простоев машин по причине внезапного отказа; ремонтного и страхового резервирования.

9. Теоретические положения подкреплены методиками использования разработанных моделей, содержащими алгоритмы и программы расчетов с примерами, выполненными на основании реальных данных эксплуатации строительных машин.

10. В диссертации впервые использован системный анализ для исследования влияния процессов управления работоспособностью парка машин на его экономическую эффективность. Методом программно-целевого анализа установлено влияние СТЭ на составляющие прибыли, как экономического показателя эффективности применения машин. Теоретически обоснована технико-экономическая эффективность применения разработанных моделей, выраженная в сокращении издержек, увеличении прибыли, оптимизации сроков службы машин.

11. Разработана методика управления эффективностью эксплуатации машин посредством факторного анализа, позволяющая решать ряд важных производственных задач, таких, как определение: зависимости рентабельности от коэффициента готовности парка, среднего возраста машин парка; допустимого и оптимального уровней затрат на ТОиР; допустимого количества простаивающей техники, исходя из заданного уровня рентабельности ПЭСМ; влияния внешних условий на эффективность эксплуа-

тации строительных машин (рост цен на топливо, изменения в налогообложении и т.д.).

12. На основании разработанных моделей динамики технических и экономических показателей составлены методики определения оптимального возраста и остаточного ресурса машин по заданным характеристикам, соответствующим определенному виду ресурса: технического – коэффициенты готовности, технического использования, снижения производительности; безопасности – наработка на отказ, вероятность безотказной работы; экономического – минимум удельных затрат, максимум прибыли, заданный уровень рентабельности. В методиках учитывается влияние многорежимной эксплуатации, капитального ремонта, ремонтного и страхового резервирования.

13. Разработана методика учета и снижения влияния техногенного риска на эффективность применения строительных машин, связанного с показателями надежности и выражаемого в виде экономического эквивалента через ущерб. Методика основывается на моделях: оптимального уровня надежности машин с учетом ущерба; влияния ущерба от внезапных отказов на эффективность применения машин; влияния вариантов мероприятий ТЭ по возобновлению работ после отказа, а также страхового и ремонтного резервирования на величину ущерба.

14. Практическая реализация разработанных в диссертации методик и рекомендаций осуществлена в информационной автоматизированной системе управления технической эксплуатацией строительных машин (ИАСУ ТЭ), созданной совместно с НПП «СпецТек». ИАСУ обеспечивает автоматизацию основных производственных процессов эксплуатации, обслуживания и ремонта строительных машин, материально-технического обеспечения, реализует современные концепции эксплуатации техники: такие, как комплексное управление основными фондами (ЕАМ); интегрированная логистическая поддержка; тотальное управление качеством. Способствует формированию: наиболее эффективной на данный момент – гибкой (индивидуальной) стратегии обеспечения работоспособности каждой единицы техники; оптимальной СТЭ для конкретного эксплуатационного предприятия; оптимальных параметров основных процессов эксплуатации (формирования парка машин и ремонтных мощностей, определения срока службы).

Главное отличие от подобных по назначению ИАСУ: интеллектуальное управление процессами ТЭ путем применения интегрированных информационных моделей; наличие встроенных и специально разрабатываемых силами СПбГАСУ электронных баз данных. Разработана структура баз данных для ИАСУ и форма «Информационной базы технической эксплуатации» для подачи заявки на авторское право, получены свидетельства Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам о регистрации баз данных по отдельным маркам строительных машин.

ИАСУ ТЭ внедрена в управлении механизации ОАО «Метрострой» (г. Санкт-Петербург). Разработано техзадание на создание «Автоматизированной системы управления информационной логистической поддержкой жизненного цикла промышленных тракторов» для ОАО «Кировский завод».

15. В рамках совершенствования отдельных технологических процессов технической эксплуатации разработаны: методика создания системы качества эксплуатации рабочей жидкости, исследован метод повышения чистоты гидросистем путем их промывки с очисткой гидробаков; встраиваемый с гидросистему вискозиметр; компактный гидротестер с автоматической коррекцией показаний на вязкость жидкости. Теоретически и экспериментально обоснованы режимы процессов промывки и диагностирования гидросистем, изготовлены промышленные образцы и внедрены в производство. Все технические решения запатентованы.

16. Разработанные в диссертации положения по совершенствованию управлен-

ческих, организационных и технологических процессов представляют в совокупности методологию совершенствования ТЭ, применимую не только для строительных машин, но и для любых других технических объектов.

17. По материалам диссертации разработаны курсы лекций для студентов механических специальностей и слушателей Института повышения квалификации СПбГАСУ.

Основные публикации по теме диссертации

Монографии

1. Репин, С.В. Методология совершенствования эксплуатации строительных машин. Монография. – СПб.: СПбГАСУ. – 2005. – 172 с.

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ

2. Репин, С.В. Концепция эффективности эксплуатации строительных машин // Строительные и дорожные машины. – 2007: № 2. – С. 27-31; № 4. – С. 21-25.

3. Репин, С.В. Оптимизация возрастной структуры парка строительных машин управления механизации // Строительные и дорожные машины. – 2006. – № 9. – С.28-31.

4. Репин, С.В. Оптимизация показателей надежности строительных машин в эксплуатации // Строительные и дорожные машины. – 2006. – № 5. – С. 28-31.

5. Репин, С.В. Резервирование как метод повышения эффективности эксплуатации строительных машин // Строительные и дорожные машины. – 2008. – № 2. – С. 45-50.

6. Репин, С.В. Методы управления рентабельностью предприятия по эксплуатации строительных машин / С.В. Репин, С.А. Евтюков // Строительные и дорожные машины. – 2005. – № 12. – С. 33-37.

7. Репин, С.В. Автоматизированная система управления состоянием основных фондов строительства / С.В.Репин, К.В.Рулис, А.В.Зазыкин, Н.К.Ховалыг, С.А.Скакун // Промышленное и гражданское строительство. – 2008. – № 2. – С. 27-28.

8. Репин, С.В. Разработка информационной автоматизированной системы управления техническим обслуживанием и ремонтом строительных машин / С.В.Репин, С.А.Скакун // Строительные и дорожные машины и оборудование. – 2007. – № 11. – С. 20-23.

9. Репин, С.В. К вопросу о сертификации строительных, дорожных, коммунальных машин и оборудования / С.В.Репин, Колычев В.И. // Строительные и дорожные машины и оборудование. – 1998. – № 11–12. – С. 38-39.

10. Репин, С.В. О получении сертификата соответствия на продукцию строительного, дорожного и коммунального машиностроения / С.В. Репин, В.И. Колычев // Строительные и дорожные машины и оборудование. – 1999. – № 3. – С. 31-33.

11. Репин, С.В. Особенности сертификации строительных, дорожных и коммунальных машин на базе автомобильных шасси / С.В. Репин, В.И. Колычев // Строительные и дорожные машины и оборудование. – 1999. – № 6. – С. 29-31.

12. Репин, С.В. Оборудование для технического обслуживания гидроприводов строительных и дорожных машин / П.Д. Алексеенко, С.В.Репин, А.В.Щугарев // Механизация строительства. – 1993. – №7. – С. 20-22.

13. Репин, С.В. О загрязнённости баков гидросистем экскаваторов / Н.Г. Гаркави, С.Б. Волжский, С.В.Репин // Механизация строительства. – 1983. – № 12. – С. 12-13.

14. Репин, С.В. Установка для промывки гидроприводов экскаваторов / Алексеенко П.Д., С.В.Репин, Галянин А.Г.// Механизация строительства. – 1987. – № 6. –

Статьи в других изданиях

15. Репин, С.В. Автоматизированная система управления состоянием основных фондов в промышленности // Сибирский промышленник. – 2007. – № 8/49. – С. 8-10.

16. Репин, С.В. Автоматизированное управление эксплуатацией строительных машин / С.В.Репин, К.В.Рулис, А.В.Зызыкин, Н.К.Ховалыг, И.Н.Антоненко // Механизация строительства. – 2008. – №4. – С. 14-17.

17. Репин, С.В. Анализ возрастной структуры парков строительных машин в управлениях механизации г. Санкт-Петербурга / С.В. Репин, А.В. Зызыкин. Материалы 58-й международной научно-технической конференция молодых ученых (аспирантов и докторантов) и студентов «Актуальные проблемы современного строительства». – СПб.: СПбГАСУ. – 2005. – С. 73-74.

18. Репин, С.В. Вклад кафедры строительных и дорожных машин СПбГАСУ в решение проблемы повышения надежности гидропривода дорожно-строительных машин/ С.Г.Аниканов, С.Б.Волжский, А.Г.Торопов/ Материалы международной научно-практической конференции. «Проблемы развития автомобильно-дорожного комплекса». – СПб.: СПбГАСУ. – 1997. – С. 87-90.

19. Репин, С.В. Влияние состояния рабочей жидкости на надёжность машин с гидроприводом / Г.А. Седлуха, С.Г. Аниканов, С.Б. Волжский, С.В.Репин. – В кн.: Совершенствование эксплуатации и ремонта строительных и дорожных машин и механизмов с гидроприводом. – Л.: ЛДНТП. – 1984. – С. 69-72.

20. Репин, С.В. Влияние эксплуатационных факторов на надежность гидроприводов строительных машин / Материалы междунар. научно-практич. конф. «Реконструкция Санкт-Петербурга – 2003». – СПб.: СПбГАСУ. – 2002. – С. 175-179.

21. Репин, С.В. Выбор принципиальной схемы устройства для оперативного контроля вязкости рабочих жидкостей гидросистем строительных машин / П.Д. Алексеев, С.В.Репин, А.В.Щугарев / Межвуз. сб. тр «Исследование рабочих процессов строительных машин в строительстве». – СПб: СПБИСИ. – 1993. – С. 55-57.

22. Репин, С.В. Гибкая система управления технической эксплуатацией строительных машин // Вестник гражданских инженеров. – 2007. – № 4(13). – С. 48-51.

23. Репин, С.В. Информационная автоматизированная система управления состоянием технических объектов в дорожном строительстве / С.В.Репин, С.А. Скакун // Дорожная держава. – 2007. – № 12. – С. 83-85.

24. Репин, С.В. Информационное содержание коэффициента технического использования машин / С.В. Репин, С.А.Евтюков / Доклады 62-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. Часть 1. – СПб: СПбГАСУ. – 2005. – С. 182-184.

25. Репин, С.В. Исследование методов совершенствования поддержания работоспособности строительной техники / С.В. Репин, В.Н. Горшков, А.В.Зызыкин, М.В.Захаров // Сборник докладов 64-й научной конф. профессоров, преподавателей, научных работников и аспирантов ун-та. – СПб.: СПбГАСУ. – 2007. – С. 173-178.

26. Репин, С.В. Использование метода экспертных оценок для анализа системы технической эксплуатации строительных машин // Актуальные проблемы современного строительства. Материалы 56-й международной научно-технической конференции молодых ученых. – СПб.: СПбГАСУ. – 2003. – С. 202-207.

27. Репин, С.В. Исследование процесса формирования затрат на эксплуатацию строительных машин / С.В. Репин, А.В. Савельев / Сборник докладов Международной научно-практической конференции «Реконтструкция-Санкт-Петербург-2005». –

СПб: СПбГАСУ. – 2005. – С. 101-105.

28. Репин, С.В. Исследование прочностных характеристик загрязнений гидробаков экскаваторов / Межвуз. тематич. сборник трудов «Повышение эффективности использования машин в строительстве» – Л.: ЛИСИ. – 1984. – С. 102-113.

29. Репин, С.В. Исследование системы технической эксплуатации строительных машин в Управлениях механизации Санкт-Петербурга // Materiały trzeciego międzynarodowego seminarium naukowego zwiększenie efektywności procesów przemysłowych i budowlanych. Częstochowa. – 2004. – S. 282-288.

30. Репин, С.В. К вопросу о влиянии загрязненности рабочей жидкости на надежность гидроприводов строительных машин / Тезисы докладов междунар. научно-практич. конф. «Реконструкция Санкт-Петербурга – 2003». – СПб.: СПбГАСУ. – 2002. – С. 53.

31. Репин, С.В. К вопросу о выборе оптимальной периодичности проведения технических обслуживаний / С.В. Репин, А.В. Зазыкин / Актуальные проблемы современного строительства. Материалы 56-й международной научно-технической конференции молодых ученых. – СПб.: СПбГАСУ. – 2003. – С. 57-59.

32. Репин, С.В. К вопросу определения оптимального срока службы строительной техники / С.В. Репин, А.В. Савельев / Доклады 62-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. Часть 1. – СПб: СПбГАСУ. – 2005. – С. 202-204.

33. Репин, С.В. К вопросу о рациональном сроке использования одноковшовых строительных экскаваторов / С.В. Репин, А.В. Савельев / Труды молодых ученых. Часть II. Материалы научно-практической конференции. – СПб.: СПбГАСУ. – 2000. – С. 103-107.

34. Репин, С.В. Кто заказывает музыку в механизации? // Строительная техника. Каталог-справочник / С.В. Репин, А.В. Савельев – СПб.: ООО «Славутич». – 2006. – С. 4-19.

35. Репин, С.В. Механизация строительных работ и проблемы, связанные с использованием строительной техники / С.В. Репин, А.В. Савельев // Строительный портал Stroit.RU – Электронный ресурс. [Режим доступа: [http:// library. stroit.ru/ articles/mehanizm/index.html](http://library.stroit.ru/articles/mehanizm/index.html)].

36. Репин, С.В. Модели формирования эффективности эксплуатации строительных машин / С.В. Репин, В.Н. Горшков // Вестник гражданских инженеров. – 2007. – № 3 (12). – С. 61-67.

37. Репин, С.В. Оборудование для диагностирования и обслуживания гидроприводов строительных машин. – Л.: ЛИСИ. – 1991. – 12 с.

38. Репин, С.В. Обоснование структуры информационной системы для автоматизированного управления эксплуатацией парка строительных машин / С.В. Репин, А.В. Зазыкин, К.В. Рулис / Сб. докладов 64-й научной конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. – СПб.: СПбГАСУ. – 2007. – С. 178-181.

39. Репин, С.В. О повышении качества очистки рабочих жидкостей гидросистем строительных машин центробежными очистителями / С.В. Репин, Н.Н. Климов / Межвуз. тематич. сборник трудов «Повышение эффективности использования машин в строительстве». – Л.: ЛИСИ. – 1980. – С. 119-121.

40. Репин, С.В. Определение производительности строительной машины вероятностным способом / С.В. Репин, А.И. Попов / Межвуз. сб. тр «Исследование рабочих процессов строительных машин в строительстве». – СПб: СПбГАСУ. – 1995. – С. 23-26.

41. Репин, С.В. О промывке гидросистем строительных и дорожных машин / Межвуз. тематич. сборник трудов «Повышение эффективности использования машин в строительстве». – Л.: ЛИСИ. – 1983. – С. 126-128.
42. Репин, С.В. Оптимизация некоторых режимов процесса промывки гидросистем строительных машин / Межвуз. тематич. сборник трудов «Повышение эффективности использования машин в строительстве». –Л.: ЛИСИ. – 1991. – С. 55-58.
43. Репин, С.В. Оптимизация показателей надежности строительных машин по экономическим характеристикам / С.В. Репин, С.А.Евтюков / Сборник докладов Международной научно-практической конференции «Реконтструкция-Санкт-Петербург-2005». – СПб: СПбГАСУ. – 2005. – С. 83-87.
44. Репин, С.В. Оптимизация процессов и параметров оборудования для промывки гидробаков экскаваторов при техническом обслуживании: Дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Ленингр. инж-строит.ин-т. – Л.: ЛИСИ. – 1986. – 260 с.
45. Репин, С.В. Поддержание требуемого уровня надежности и дорожно-строительных машин в эксплуатации /С.В. Репин, С.А. Евтюков / Сб. докладов 6-й междунар. конф.«Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах», СПб, 14-15 сентября 2004 года. – СПб.: СПбГАСУ. – 2004. – С. 367-372.
46. Репин, С.В. Применение концепции экономического рычага для анализа рентабельности предприятия по эксплуатации строительных машин // Materiały trzeciego międzynarodowego seminarium naukowego zwiększenie efektywności procesów przemysłu stowych i budowlanych. Częstochowa. – 2005. – S. 3-13.
47. Репин, С.В. Проблемы обеспечения требуемого уровня надежности строительных машин в эксплуатации // Materiały trzeciego międzynarodowego seminarium naukowego zwiększenie efektywności procesów przemysłu stowych i budowlanych.. – 2005. – S. 16-22.
48. Репин, С.В. Проблемы реновации парков строительно-дорожных машин / С.В.Репин, Я.В.Васильев / Доклады 59-й конференция профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. – СПб.: СПбГАСУ. – 2001. – С. 72-73.
49. Репин, С.В. Проблемы совершенствования государственного технического осмотра специализированных транспортных средств/ С.В.Репин, В.И.Колычев / Сб. докладов 5-й междунар. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах», СПб, 19-20 сентября 2002 года. – СПб.: СПбГАСУ. – 2002. – С. 387-388.
50. Репин, С. В. Программный комплекс «TRIM» для управления основными фондами предприятия / И.Я. Евстафьев, С.В. Репин, К.В. Рулис // Актуальные проблемы современного строительства: Сб. докл. международ. науч-техн. конф. молодых ученых. Ч. 2. – СПб.: СПбГАСУ. – 2006. – С. 155-160.
51. Репин, С. В. Разработка автоматизированной системы управления техническим обслуживанием и ремонтом строительных машин / С. В. Репин, А. В. Зызыкин, К. Ю. Сушко // Политранспортные системы: материалы V Всерос. НТК, Красноярск, 21-23 ноября 2007 г.: в 2-х ч. Ч. 2. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т; Политехн. ин-т. – 2007. – С. 244-250.
52. Репин, С.В. Разработка индивидуальной системы управления эксплуатацией технического объекта //Вестник Инжэкона. – 2007. – № 6/19 – С. 66-69.
53. Репин, С.В. Разработка информационно-аналитической системы «Эксплуатации парка строительных машин» / С.В.Репин, П.А.Кравченко, С.А.Евтюков/ Труды Международной научно-технической конференции 3-6 октября 2006 г. «Современные проблемы проектирования и эксплуатации транспортных и технологических

систем». – СПб.: Издательство СПбГПУ. – 2006. – С. 168-169.

54. Репин, С.В. Разработка функциональной схемы управления обеспечением работоспособности технического объекта // Решетневские чтения: Материалы XI Международ. науч. конф. 6-10 ноября 2007 г. – Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – 2007. – С. 300-301.

55. Репин, С.В. Разработки кафедры транспортно-технологических машин Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета в области повышения надежности гидроприводов строительных и дорожных машин // Materiały trzeciego międzynarodowego seminarium naukowego zwiększenie efektywności procesów przemysłowych i budowlanych. Częstochowa. – 2004. – S. 288-294.

56. Репин, С.В. Сертификация транспортных средств, строительных, дорожных, коммунальных машин и оборудования – важный путь повышения их качества / С.В. Репин, Л.М. Кирпичева. – СПб.: СПбГАСУ. – 1998. – 18 с.

57. Репин, С.В. Совершенствование оборудования для технического обслуживания – важный резерв повышения эффективности эксплуатации гидрофицированных машин / П.Д. Алексеенко П.Д., С.Г. Аниканов, С.В.Репин / В кн.: Опыт трестов и управлений механизации в новых условиях хозяйствования: (Матер. региональной конф.): – СПб.: ЛДНТП. – 1991. – С. 112-115.

58. Репин, С.В. Теоретическое исследование процесса разрушения загрязнений на дне гидробаков строительных машин затопленной струёй рабочей жидкости; Ленингр. инж. -строит. ин-т. – Л., 1985. – 25 с. :ил. – Библиогр.: 6 назв. – Деп. в ЦНИИТЭстроймаше 07.02.85, № 17сд-85 Деп.

59. Репин, С.В. Управление сроками службы машин в автоматизированной системе / С.В. Репин, И.Н.Антоненко //Грузовое и пассажирское автохозяйство. – 2008. – № 4. – С. 48-57.

60. Репин, С.В. Управление эффективностью деятельности предприятия по эксплуатации строительных машин методом маржинального анализа / С.В. Репин, С.А.Евтюков, М.А.Нестеренко //Автомобильные дороги, транспорт и экология: Сборник научно-практических трудов группы предприятий «Дорсервис» / Под ред. Пичугова А.И., Медреса Е.П. – СПб.: ООО «Издательство ДНК». – 2006. – С. 159-171.

61. Установка для промывки и заправки гидросистем с очисткой гидробаков/ Репин С.В., Аниканов С.Г./Информ. листок № 72–84. – Л.: ЛЦНТИ. – 1984. – 4 с.

62. Установка для тонкой очистки жидкости / Седлуха Г.А., Аниканов С.Г., Репин С.В./ Информ. листок № 93-84. – Л.: ЛЦНТИ. – 1984. – 4 с.

63. Эксплуатация и ремонт строительных и дорожных машин. Методические указания по изучению курса «Эксплуатация и ремонт строительных и дорожных машин» для студентов специальностей 190205 - подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование, 270113 – механизация и автоматизация строительства /А.П.Алексеенко, С.Б.Волюжский, С.В.Репин, А.Г.Торопов. – СПб.: СПбГАСУ. – 2006. – 32 с.

64. Service Equipment For Hydraulic Systems Of Earthmoving Machines /S.V.Voluzsky, S.V.Repin, A.G.Toropov / Materials of 2nd International Machinery Monitoring & Diagnostics Conference “Machinery Condition Monitoring – Key to Performance and Productivity for the 90’s”. October 22-25, 1990. – Los Angeles, California: Union College. – P. 128-142.

Свидетельства на авторские права и изобретения

65. Свидетельство № 2008620117 о государственной регистрации базы данных «Информационная база технической эксплуатации экскаватора ЭО-4225» / С.В.Репин, К.В.Рулис, А.В.Зазыкин. – М.: Федеральная служба по интеллектуальной

собственности, патентам и товарным знакам. – 2008. – 1 с.

66. А.с. 1397100 СССР, МКИ³ В08 В 9/08. Устройство для очистки ёмкостей / Репин С.В., Кендюшенко А.Н. (СССР). – № 4086182/31-12; Заявлено 09.07.86; Опубл. 23.05.88, Бюл. № 19. – 3 с.

67. А.с. 1680345 СССР, МКИ³ В 04 В1/06. Центробежный очиститель жидкости / Волюжский С.Б., Репин С.В. (СССР), – № 4738153/26; Заявлено 18.09.89; Опубл. 30.09.91, Бюл. № 36. – 4 с.

68. А.с. 1697915 СССР, МКИ³ В08 В 9/08. Устройство для промывки ёмкостей / Волюжский С.Б., Репин С.В., Рулис К.В. (СССР). – № 4729087/12; Заявлено 11.08.89; Опубл. 15.12.91, Бюл. № 46. – 4 с.

69. А.с. 1562770 СССР, МКИ³ G01 N 11/02. Индикатор вязкости / Репин С.В., Рулис К.В., Ваулин Ю.Н. (СССР). – № 4271210/31–25; Заявлено 29.06.87; Опубл. 07.05.90, Бюл. № 17. – 4 с.

70. А.с. 1571401 СССР, МКИ³ F15В 19/00. Устройство для измерения расхода жидкости / Репин С.В., Алексеенко П.Д., Губанов В.Г., Рулис К.В., (СССР). – № 4357824/24–10; Заявлено 04.01.88; Опубл. 15.06.90, Бюл. № 22. – 4 с.

Соискатель



С.В.Репин