

На правах рукописи



Панов Кирилл Вячеславович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ  
 ГИБКИХ ФОРМ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА**

Специальность 05.02.22 – Организация производства  
(транспорт, технические науки)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО УрГУПС)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**БУЙНОСОВ Александр Петрович**

Официальные оппоненты: **ЛАКИН Игорь Капитонович,**  
доктор технических наук, профессор, первый заместитель генерального директора АО «Дорожный центр внедрения Красноярской железной дороги»

**ГОЛОВАШ Анатолий Нойович,**  
кандидат технических наук, заместитель директора ООО «Производственное конструкторско-технологическое предприятие «Транспорт»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Защита диссертации состоится 15 мая 2020 г. в 14.00 на заседании диссертационного совета Д 218.013.02 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС) в ауд. Б2-15 (зал диссертационных советов) по адресу: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте УрГУПС по адресу: <http://www.usurt.ru>.

Автореферат разослан «17» марта 2020 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по почте в адрес диссертационного совета Д 218.013.02.

Тел./факс: +7 (343) 221-24-44. E-mail: NSirina@usurt.ru.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук

Н. Ф. Сирина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Показатели эффективности железнодорожного транспорта в значительной степени устанавливаются надежностью, конструктивными параметрами и эффективностью использования локомотивов. Расходы на эксплуатацию и содержание локомотивного парка составляют существенную часть суммарных расходов отрасли, из них ориентировочно 20 % требуется на техническое обслуживание и ремонт. Техническое состояние локомотивов остается доминирующим фактором рисков безопасности движения, что подтверждается результатами анализа браков в поездной работе и отказов технических средств, связанных с неисправностями локомотивов из-за низкого качества технического обслуживания и ремонта.

Для существенного повышения грузо- и пассажирооборота железных дорог, предусмотренного Транспортной стратегией РФ до 2030 г., за счет строительства новых и реконструкции существующих магистральных линий, обновления парка подвижного состава и повышения показателей его применения необходимо создание современной и эффективной производственной базы, обеспечивающей качественный ремонт локомотивов при минимальных затратах времени и ресурсов. Изменения должны содержаться не только во внедрении новых технологий ремонта, но и в модернизации технологической инфраструктуры, сочетании с оптимизацией производственных процессов для снижения их себестоимости.

**Степень разработанности темы исследования.** Изучение вопросов эффективного функционирования и совершенствования производственных процессов технического обслуживания и ремонта локомотивов, увеличения качества производственной деятельности локомотиворемонтных предприятий проводились научными коллективами ВНИИЖТ, ВНИКТИ, ВЭЛНИИ, НИИТКД, МИИТ, РГУПС, УрГУПС, ДВГУПС, ИрГУПС, СамГУПС, ПГУПС, ОмГУПС. Существенную роль в решение данных проблем внесли С. Я. Айзинбуд, А. Ю. Балакин, М. М. Болотин, В. П. Бугаев, А. П. Буйносов, А. А. Воробьев, И. И. Галиев, А. Т. Головатый, А. Н. Головаш, А. В. Горский, В. И. Гридюшко, Ю. А. Давыдов, Д. Г. Евсеев, А. М. Замышляев, И. П. Исаев, В. А. Камаев, В. И. Киселев, В. С. Коссов, В. А. Кручек, В. Д. Кузьмич, Д. Н. Курилкин, В. Ф. Лапшин, И. К. Лакин, В. В. Лукин, В. Б. Медель, Б. Д. Никифоров, А. Т. Осяев, Ю. Е. Просвилов, А. В. Плакс, Е. Н. Розенберг, А. П. Семёнов, К. А. Сергеев, Н. Ф. Сирина, В. Т. Стрельников, Э. Д. Тартаковский, П. А. Устич, В. Т. Черемисин, В. А. Четвергов, Н. Г. Шабалин, С. Г. Шантаренко, Ю. С. Шашлюк и др. Научными школами отраслевых вузов, НИИ и проектных институтов создана научно-методи-

ческая база в области оптимального проектирования, эксплуатации и ремонта подвижного состава. Менее исследованным, но очень важным научным направлением является повышение эффективности функционирования локомотиворемонтных предприятий за счет гибких форм организации производства.

**Целью диссертационной работы является** совершенствование производственных процессов предприятий по ремонту локомотивов путем повышения эффективности их организации и управления.

**Для достижения поставленной цели необходимо решить задачи:**

1. Выполнить статистическую обработку показателей производства ремонта локомотивов на предприятии для определения законов и параметров распределения их вероятности;

2. Разработать показатели качества организации производственных систем, определяющие адаптивность производственного процесса к появлению сверхцикловых работ при ремонте локомотивов и возможных нарушениях технологической структуры;

3. Разработать имитационную модель производственной структуры локомотиворемонтного предприятия, учитывающую перемещение локомотивов по тракционным путям и технологическим позициям;

4. Разработать организационно-технологические решения для локомотиворемонтного предприятия, позволяющие сократить количество сверхнормативных простоев локомотивов в ремонте;

5. Разработать метод планирования и управления производственным процессом ремонта локомотивов в условиях возможных нарушений производственной системы.

**Областью исследования** является организация производственных процессов, направленных на повышение эффективности функционирования локомотиворемонтных предприятий.

**Объект исследования** – производственные процессы локомотиворемонтного предприятия.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

– определены законы и параметры вероятностных распределений заходов, продолжительности простоев и смены ремонтных позиции локомотивов на ремонтном предприятии, позволяющие определить значения сверхнормативных простоев;

– разработаны критерии качества организации производственных систем, определяющие адаптивность производственного процесса к появлению сверхцикловых работ при ремонте локомотивов и возможных нештатных ситуаций на предприятии;

– разработана имитационная модель производственной структуры локомотиворемонтного предприятия, учитывающая перемещение локомотивов по тракционным путям и технологическим позициям;

– предложено организационно-технологическое решение для локомотиворемонтного предприятия, позволяющее сократить количество сверхнормативных простоев локомотивов при ремонте;

– разработана система планирования и управления постановкой локомотивов на ремонт, учитывающая занятость производственных участков и наличие запасных частей.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Теоретическая значимость работы состоит в разработанной имитационной модели производственной структуры локомотиворемонтного предприятия, позволяющей производить расчет производственных параметров при ремонте локомотивов, а также создавать различные сценарии функционирования предприятия и оценивать моделируемые варианты проекта. Разработанные критерии позволяют определить адаптивность производственного процесса к появлению сверхцикловых работ при ремонте локомотивов и возможных нештатных ситуациях на предприятии.

Практическая значимость работы состоит в предложенной адаптивной (перенастраиваемой) форме организации производства, способной уменьшить количество сверхнормативных простоев локомотивов при ремонте. Разработанная система планирования и управления постановкой локомотивов на ремонт способна прогнозировать наличие выполняемых сверхцикловых работ на локомотиве, занятость производственных участков, наличие запасных частей и рассчитывать оптимальный график ремонта локомотивов, минимизирующий количество сверхнормативных простоев.

**Методология и методы исследования.** Теоретические исследования проведены на основе методов теории систем, системного анализа, теории исследований операций. Анализ статистических данных проводился при помощи программного пакета Statistica. Имитационное моделирование производилось с использованием программного пакета Anylogic, язык программирования – Java. При разработке конструкторских и технологических решений использовано САПР «Компас». Получение трехмерных моделей для исследования производилось при помощи программы David-Laserscanner.

### **На защиту выносятся:**

1. Законы и параметры вероятностных распределений заходов и продолжительности простоев локомотивов на ремонтном предприятии;

2. Критерии адаптивности производственного процесса к появлению сверхцикловых работ при ремонте локомотивов и возможных нештатных ситуаций на предприятии;

3. Имитационная модель производственной структуры локомотиворемонтного предприятия;

4. Форма организации локомотиворемонтного производства, повышающая эффективность функционирования предприятий;

5. Метод планирования и управления производственным процессом ремонта локомотивов.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-практической конференции «Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте» (Омск, 2014), Международной научно-практической конференции «Транспорт-2014» (Ростов-на-Дону, 2014), второй Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов» (Омск, 2014), III Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава» (Омск, 2015), Международной научно-практической конференции «Транспорт-2015» (Ростов-на-Дону, 2015), научно-практической конференции «Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте» (Омск, 2016), IV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава» (Омск, 2017), III Международной научно-практической конференции «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов» (Москва, 2018), Сибирском транспортном форуме «TransSiberia-2018» (Новосибирск, 2018).

**Публикации.** По результатам проведенных исследований опубликована 21 работа, в том числе две статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, одна в изданиях, индексируемых в международной реферативной базе данных Scopus. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, приложений, списка литературы из 130 наименований, содержит 138 страниц основного текста, 53 рисунка и 14 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность и указана степень разработанности темы исследования, приведены цели и задачи, научная новизна, практическая и теоретическая значимость работы, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация полученных результатов.

**В первой главе** выполнен анализ современного состояния технической и технологической базы локомотиворемонтных предприятий, применяемых форм организации производства, технических средств и технологий. Сформулированы цели и задачи исследования.

В локомотивном комплексе наблюдаются регулярное невыполнение программы ремонта, перепростой на плановых видах ремонта, заходы на межпоездной ремонт и ожидание свободных позиций, а низкий уровень надежности локомотивов увеличивает количество unplanned ремонтов на сервисных предприятиях; следствие – низкий коэффициент технологической готовности. Все это заставляет пересмотреть нынешнюю систему организации производственного процесса ремонта локомотивов.

Современные способы организации ремонта локомотивов по функциональному принципу и характеру привязки к объекту ремонта могут быть разделены на стационарные и нестационарные. В стационарных системах локомотив остается неподвижным, а заданная технологическая последовательность операций состоит из перемещения в зону проведения работ необходимого оборудования и персонала, что обеспечивает высокую технологичность, но снижает производительность системы. Для нестационарных систем, напротив, характерно перемещение объектов ремонта относительно технологических позиций, при этом повышается производительность, но только при больших объемах ремонта.

Эффективным способом решения возникающих противоречий является создание так называемых интегрированных форм организации производства, сочетающих высокую производительность поточных линий с адаптивностью и технологичностью постового метода.

На основе анализа современного состояния технологической и технической баз локомотиворемонтных предприятий сформулированы цели и задачи исследования.

**Во второй главе** проведены результаты исследования теоретических основ функционирования производственного процесса и производственной структуры

предприятия. Определены законы и параметры заходов и продолжительности простоев локомотивов, рассчитана вероятность смены объектом ремонта технологического участка. Разработаны показатели оценки качества организации производственных систем, определяющие гибкость производственного процесса к появлению сверхцикловых работ при ремонте локомотивов и возможных нештатных ситуаций на предприятии.

Функциональная среда ремонтного предприятия представляется соответствующей совокупностью действий работников, орудий труда и объекта ремонта, в результате взаимодействия которых, во-первых, требуются затраты времени и ресурсов, во-вторых, возникают отклонения в производственном процессе.

В процессе ремонта локомотива появляется необходимость переместить ремонтируемую единицу из одного участка ремонта в другой. Зачастую появляются очереди на позиции ремонта, скопление локомотивов на тракционных путях депо, поэтому маневровый локомотив, который выполняет постановку ремонтируемой единицы в цех, не успевает выполнять свои функции.

График постановки локомотивов не учитывает ситуацию на производстве (занятость участков, канав, оборудования и наличие запасных частей и т. д.) и при больших объемах ремонта приводит к длительным простоям локомотивов, увеличению материальных затрат и т. д.

Модель функционирования локомотиворемонтного предприятия может быть представлена в виде графа состояний, где состоянием является позиция локомотива на предприятии (рисунок 1).

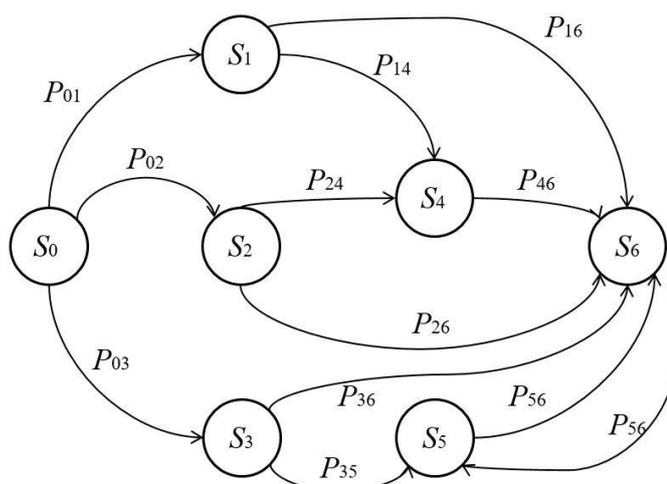


Рисунок 1 – Граф технологического маршрута ремонтируемого локомотива

В процессе ремонта локомотив может находиться на следующих позициях:  $S_0$  – очередь на ремонт (нахождение локомотива на тракционных путях депо),  $S_1$  – участок технического обслуживания ТО-2,  $S_2$  – участок текущего ремонта ТР-1 (ТР-

30) и ТР-2 (ТР-300),  $S_3$  – участок текущего ремонта ТР-3 (ТР-600),  $S_4$  – участок обточки колесных пар (ТО-4),  $S_5$  – участок непланового ремонта (НР),  $S_6$  – выдача локомотива из ремонта и его приемка локомотивной бригадой.

Процесс перехода ремонтируемого локомотива из текущего состояния  $S_i$  в состояние  $S_j$  (т. е. перемещение объекта ремонта с одной технологической позиции на другую) определяется вероятностью  $P_{ij}$ . Взаимосвязи технологических операций можно представить в виде матрицы:

$$G_k = \begin{pmatrix} - & (P_{12}, t_{12}) & \dots & (P_{1j}, t_{1j}) & \dots & (P_{1n}, t_{1n}) \\ (P_{21}, t_{21}) & - & \dots & (P_{2j}, t_{2j}) & \dots & (P_{2n}, t_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ (P_{i1}, t_{i1}) & (P_{i2}, t_{i2}) & \dots & (P_{ij}, t_{ij}) & \dots & (P_{in}, t_{in}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ (P_{n1}, t_{n1}) & (P_{n2}, t_{n2}) & \dots & (P_{nj}, t_{nj}) & \dots & - \end{pmatrix}, \begin{matrix} \sum_{i=1}^{n_i} P_{ij} = 1 \\ \sum_{j=1}^{n_i} P_{ij} = 1 \\ k = 1, \dots, m, \end{matrix} \quad (1)$$

где  $n$  – количество вершин графа (технологических участков),  $n = 7$ ;

$P_{ij}$  – технологическая связь между  $i$ -й и  $j$ -й позициями (вероятность перехода);

$P_{ij} = [0, 1]$ :  $P = 1$  – если операции выполняются последовательно и безусловно,  $P = 0$  – если связь отсутствует;

$t_{ij}$  – время перемещения объекта с  $i$ -й на  $j$ -ю позицию, мин.

Время перемещения локомотива:

$$pt_{ij} = (t_{ij}^{(1)}, t_{ij}^{(2)}, \dots, t_{ij}^{(n)}), \quad i, j = 1, \dots, m, \quad (2)$$

где  $pt_{ij}$  – время перемещения  $n$ -го локомотива с  $i$ -й на  $j$ -ю позицию ( $t = 0$ , если перемещение не требуется).

По результатам статистического анализа определена вероятность перемещения с одной технологической позиции на другую.

Условия перевозочного процесса и качество локомотивов и ряда других показателей влияют на интенсивность поступления локомотивов на ремонт, состав и объем технологических операций и время восстановления работоспособности.

По результатам статистического анализа определены параметры и законы распределения поступления локомотивов и продолжительности ремонта на позиции для каждого вида технического обслуживания и ремонта, производимых в депо.

Время выполнения технологических операций определяют принятые параметры и законы вероятностного распределения. Для ТО-2, ТО-4, ТР-2 и ТР-3 – гамма-распределение (рисунок 2), плотность распределения которой (3):

$$p(t_{\text{пр}}^i) = \frac{(t_{\text{пр}}^i - t_{\text{мин}}^i)^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp\left(-\frac{[t_{\text{пр}}^i - t_{\text{мин}}^i]}{\beta}\right), \quad (3)$$

где  $t_{\text{мин}}^i$  – минимальное значение гамма-распределения, для  $i$ -го вида ремонта;

$\alpha$  – фактор формы вероятностного распределения;

$\beta$  – параметр масштаба распределения;

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty (t_{\text{пр}}^i)^{\alpha-1} e^{-t_{\text{пр}}^i} dx - \text{гамма-функция}. \quad (4)$$

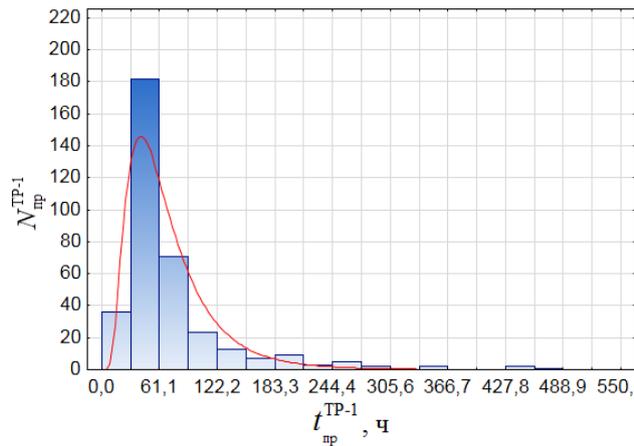


Рисунок 2 – Гистограмма распределения продолжительности простоя локомотивов на TP-2

Для TP-1 и НР – логнормальное распределение с плотностью:

$$p(t_{\text{пр}}^i) = \frac{1}{(t_{\text{пр}}^i - t_{\text{мин}}^i) \sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{[\ln(t_{\text{пр}}^i - t_{\text{мин}}^i) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right), \quad (5)$$

где  $t_{\text{мин}}^i$  – минимальное значение логнормального распределения для  $i$ -го вида ремонта;

$\sigma$  – среднее значение включенной нормальной величины;

$\mu$  – среднеквадратичное отклонение включенной нормальной величины.

Вероятность поступления локомотивов на плановые виды ремонта (рисунок 3) принимает дискретные значения и рассматривается как поступления  $N$  объектов на  $i$ -й вид ремонта за время  $\Delta t$ , что подчиняется закону Пуассона:

$$p_N^i = \frac{(\overline{pt}_i \cdot \Delta t)^N}{N!} \cdot e^{-\overline{pt}_i \cdot \Delta t}. \quad (6)$$

Поток заявок на неплановый ремонт является непрерывным распределением и подчиняется распределению Рэля с плотность распределения:

$$p(t_3^{\text{HP}}) = \frac{(t_3^{\text{HP}} - t_{\text{min}}^{\text{HP}})}{\sigma_R^2} \exp\left(-\frac{(t_3^{\text{HP}} - t_{\text{min}}^{\text{HP}})^2}{2\sigma_R^2}\right), \quad (7)$$

где  $t_{\text{min}}^{\text{HP}}$  – минимальное значение при поступлении заявок на НР, ч;

$\sigma_R$  – параметр масштаба распределения при поступлении заявок, ч.

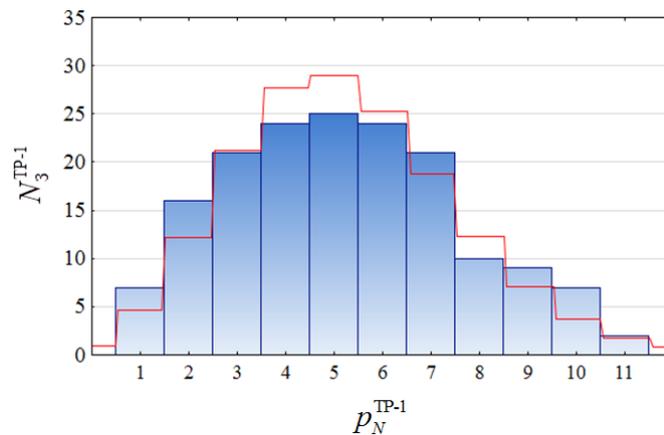


Рисунок 3 – Гистограмма распределения вероятности поступления на ТР-1

Возможность адаптации предприятий под подобную вероятностную модель функционирования производства характеризуется гибкостью производственного процесса, т. е. переходом из одного работоспособного функционального состояния в другое при минимальных потерях и затратах для выполнения очередного задания или новой функции.

Возможность производственной структуры предприятия быстро перейти на новую производственную функцию, необходимую для восстановления работоспособности локомотива, характеризуется производственной гибкостью:

$$k_{\text{ПГ}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n T_{\text{потерь}}}{\sum_{i=1}^n T_{\text{ремонт}}}, \quad (8)$$

где  $T_{\text{потерь}}$  – потери времени, возникающие на предприятии при ремонте  $i$ -го локомотива;

$T_{\text{ремонт}}$  – время нахождения  $i$ -го локомотива на ремонте;

$n$  – количество локомотивов, прошедших ремонт.

Для каждого ремонтируемой единицы временные потери будут равны:

$$T_{\text{потерь}} = t_{\text{очередь}} + t_{\text{маневр}} + t_{\text{позиция}}, \quad (9)$$

где  $t_{\text{очередь}}$  – время ожидания ремонта;

$t_{\text{маневр}}$  – время маневровой работы на территории депо (постановка и выход с участка ремонта);

$t_{\text{позиция}}$  – время ожидания смены позиции ремонта.

Возможность быстрого перехода с одного технологического участка ремонта на другой оценивает маршрутная гибкость:

$$k_{\text{МГ}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{\text{потерь}} - \sum_{i=1}^n t_{\text{маневр}}}{\sum_{i=1}^n T_{\text{потерь}}}. \quad (10)$$

Адаптация производственного процесса к существенному росту объема ремонта или продолжительности времени ремонта не может быть автоматической и требует внесения изменений в структуру производства, что определяется объемной гибкостью:

$$k_{\text{ОМГ}} = \frac{(T_{\text{ремонт}}^{\text{ср}} + T_{\text{потерь}}^{\text{ср}}) \cdot n}{\sum_{i=1}^n T_{\text{потерь}}}, \quad (11)$$

где  $T_{\text{ремонт}}^{\text{ср}}$  – среднее время ремонта локомотива на участке;

$T_{\text{потерь}}^{\text{ср}}$  – среднее время потерь.

На повышение производственных потерь в локомотиворемонтном производстве также влияют смена и добавление новых серий локомотивов в производственный процесс. Оценить способность предприятия к освоению ремонта новой серии может объектная гибкость:

$$k_{\text{ОКГ}} = \frac{(T_{\text{ремонт}}^{\text{ср}} + T_{\text{потерь}}^{\text{ср}} + t_{\text{пер}}) \cdot n}{F \cdot N_{\text{ту}}}, \quad (12)$$

где  $F$  – эффективный фонд работы участка ремонта;

$N_{\text{ту}}$  – количество технологических позиций на участке ремонта;

$t_{\text{пер}}$  – время переналадки технологических операций между сменами серии локомотива.

Быстрота переналадки технологической системы при изменении структуры ремонтного задания характеризуется оперативной технологической гибкостью производства:

$$k_{\text{ТГ}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{пер}}}{F}. \quad (13)$$



участок. Если необходимые участки для ремонта заняты, то формируется очередь. Учтено время сцепки и отцепки составов и скорость всех единиц по тракционным путям.

Перемещение и нахождение локомотивов на участке отображается на графической схеме, которая является частью модели и составлялась в соответствии с генеральным планом депо.

Адекватность имитационной модели оценивалась сравнением фактической годовой программы ремонта на предприятии и количества локомотивов, прошедших по каждому виду технического обслуживания и ремонта в имитационной модели за 365 дней. Отклонения значений реального производства от значений имитационной модели не превышает 5 %.

По результатам моделирования рассчитаны производственные потери и технологические показатели предприятия. Выявлено, что длина и расположение тракционных путей предприятий сохраняют высокие показатели ожидания в очереди, связанные с преодолением расстояния как ремонтных, так и маневровых локомотивов, что приводит к низкой пропускной способности ремонтных предприятий и увеличению количества перепростоев локомотивов на предприятии.

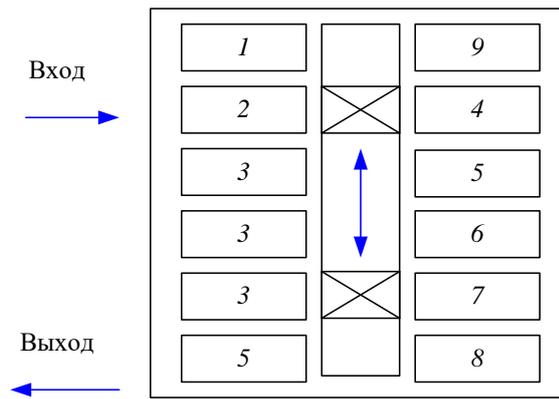
**В четвертой главе** представлены технологические и технические решения по повышению эффективности и совершенствованию производственных процессов ремонта локомотивов за счет внедрения новых форм организации производства, информационных технологий планирования и управления предприятием.

Для достижения высоких показателей производительности труда и гибкости производственного процесса, сокращения количества перепростоев и повышения технологической готовности для проектируемых предприятий разработана адаптивная (перенастраиваемая) форма организации производства (рисунок 5).

В составе технологического комплекса предусмотрены специализированные ремонтные позиции (модули), расположенные по обе стороны от транспортного пролета. Перемещение локомотивов между модулями осуществляется при помощи трансбордеров. Технологический маршрут формируется в зависимости от вида ремонта и результатов входного контроля.

Построена имитационная модель гибкой формы организации локомотиворемонтного предприятия с такими же исходными данными, что модель предприятия, описанная в главе 3.

Произведено сравнение гибкой производственной системы с существующей организацией производства на предприятии. Определено, что применение новых методов производства сокращает логистические потери локомотива во время ремонта  $T_{\text{потерь}}$  в два раза.



1 – наружная и внутренняя очистка локомотива перед ремонтом; 2 – входной контроль и диагностирование; 3 – осмотр и текущий ремонт; 4 – обточка колесных пар под локомотивом; 5 – экипировка локомотива; 6 – подъем кузова; 7 – испытания и развеска кузова; 8 – наладка и доводка; 9 – восстановление защитных покрытий

Рисунок 5 – Гибкая форма организации локомотиворемонтного процесса

Значение коэффициентов загрузки при плановых видах ремонта, где раньше наблюдалась недогрузка, возрастет вместе с уменьшением времени ожидания ремонта, что говорит об увеличении использования мощностей депо.

При гибкой форме организации производства снизилось количество сверхцикловых простоев: если при существующем производстве на перепростое находилось около 30 % локомотивов, то при предлагаемой форме – около 10 %.

Одним из эффективных способов совершенствования производственных процессов является оптимальное управление постановкой локомотивов на ремонт и планирование запасных деталей и узлов локомотива.

Алгоритм оперативного планирования постановки локомотивов на предприятии (рисунок б) прогнозирует техническое состояние локомотива (объем будущих выполняемых ремонтных работ для каждого локомотива) и сопоставляет с существующим состоянием производства (занятость участков, канав, оборудования, наличие запасных частей и деталей). Предлагаемый метод выполняет оптимизационную функцию и рассчитывает эффективный график ремонта локомотивов за счет моделирования и определения максимально эффективного сценария развития событий.

Зная среднесуточный пробег локомотивов, местонахождение в данный момент локомотива на полигоне, межремонтные пробеги, среднеквадратичные отклонения простоев и расход запасных частей каждого локомотива на каждом виде технического обслуживания или ремонта, можно спрогнозировать объём ожидаемых работ на заданный период, определить количество и тип ресурсов на предприятии.

Моделирование рассчитывает различные варианты графиков постановки локомотивов на ремонт по принципам обработки данных: FIFO («первым пришёл – первым обслужен»), SJN («следующий с кратчайшим заданием»), LIFO («обслуживание по приоритету»), RR («циклический»).

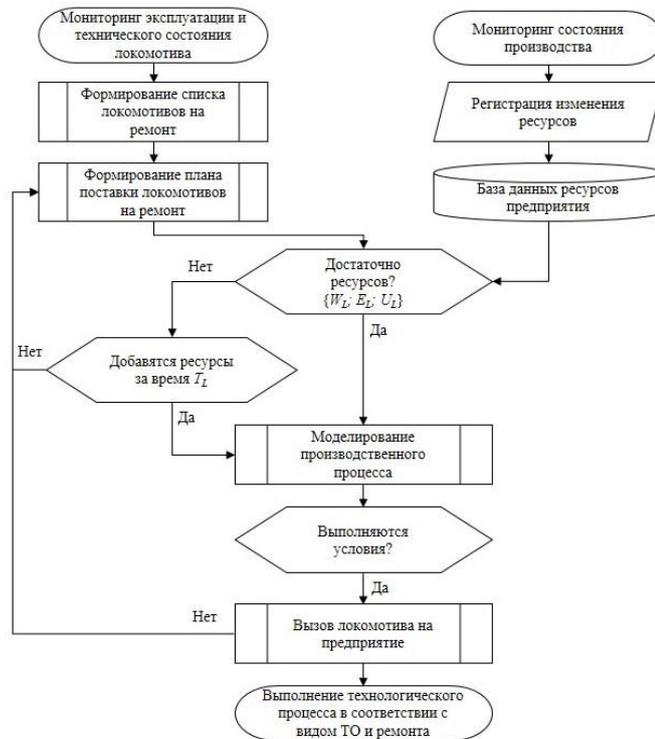


Рисунок 6 – Алгоритм оперативного планирования захода локомотивов, адаптирующегося под состояние предприятия

При рассмотрении модели многих вариантов развития событий решаются оптимизационная задача, целевая функция нахождения максимума коэффициента технической готовности  $K_{ТГ}$  с некоторой системой ограничений.

На основе обработки статистических данных рассчитывается страховой резерв материалов и запасных частей при ремонте локомотивов с учетом цикловых и сверхцикловых работ и неплановых видов ремонта при помощи вероятностного подхода.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получены новые научно обоснованные технические и технологические решения, направленные на повышение эффективности функционирования и совершенствование производственных процессов

локомотиворемонтных предприятий. Основные научные и практические результаты диссертационной работы состоят в следующем.

1. Выполнена статистическая обработка показателей производства ремонта локомотивов на предприятии для определения законов и параметров распределения их вероятности. Заходы локомотивов на ТР-1, ТР-2 и ТР-3 подчиняются закону Пуассона, на НР – закону Рэлея, продолжительность нахождения локомотивов на технологических участках ТО-2, ТО-4, ТР-2 и ТР-3 – гамма-распределению, ТР-1 и НР – логнормальному распределению.

2. Разработаны показатели качества организации производственных систем, определяющие адаптивность производственного процесса к появлению сверхцикловых работ при ремонте локомотивов и возможных нарушениях технологической структуры.

3. Разработана имитационная модель производственной структуры локомотиворемонтного предприятия. По результатам рассчитана продолжительность ожидания ремонта  $t_{очередь}^{cp}$ , среднее значение которой 1,96 ч. Логистические потери локомотива на предприятии  $T_{потерь}^{cp}$ , среднее значение которых, ч: ТО-2 – 2,066, ТР-1 – 1,827, ТР-2 – 1,981, ТР-3 – 2,083, ТО-4 – 8,496, НР – 6,886.

4. Предложена гибкая форма организации производственного процесса предприятий по ремонту локомотивов. По результатам расчета выявлено, что применение подобных технологий сокращает количества сверхцикловых работ в два раза, логистические потери при перемещении локомотивов  $T_{потерь}^{cp}$  сокращаются в среднем на 64,36 %, продолжительность ожидания ремонта  $t_{очередь}^{cp}$  сокращается на 52,07 %. Увеличивается коэффициент технологической готовности  $K_{ТГ}$  для обслуживаемого парка локомотивов. Увеличиваются коэффициенты технологической загрузки участков  $K_{з,ср}^{my}$ , что говорит об увеличении использования мощностей локомотиворемонтных предприятий. Пропускная способность ремонтного производства повышается на 30 %.

5. Разработана программная система планирования и управления постановкой локомотивов на ремонт, учитывающая занятость производственных участков, наличие запасных частей и прогнозирующая объем будущих ремонтных работ для каждого локомотива.

В качестве рекомендаций и перспективы дальнейшей разработки темы диссертации предлагаются проведение исследований различных вариантов исполнения гибких форм организации производства при ремонте локомотивов, разработка

автоматизированных систем управление гибким производственным процессом ремонта локомотивов с использованием новых информационных технологий.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

*а) научные работы, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК:*

1. Панов, К. В. Имитационная модель производственно-логистического процесса локомотиворемонтного предприятия [Текст] // Вестник УрГУПС. – 2019. – № 1 (41). – С. 96–108.

2. Панов, К. В. Исследование вероятностных процессов функционирования локомотиворемонтного предприятия [Текст] // Вестник УрГУПС. – 2019. – № 2 (42). – С. 66–75.

*б) научные работы, опубликованные в изданиях, индексируемых в международной реферативной базе данных Scopus*

3. Panov, K. The simulation model's elaboration of the production process of the locomotive repair enterprises // XX International Scientific Conference: Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies 983. – 2019. – P. 274–286.

*в) патенты РФ и авторские свидетельства*

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Российская Федерация / Планирование ремонта локомотивов [Текст] / К. В. Панов – № 2019616586 ; заявл. 07.05.2019 ; опубл. 24.05.2019.

*г) публикации в других изданиях*

5. Panov, K. System of technical vision based on active laser triangulation method / K. Panov, A. Borodin // Siberian Transport Forum – Transsiberia. – 2018. – P. 142943.

6. Пат. 169641 Российская Федерация, МПК В60S 3/00. Автоматизированный комплекс очистки деталей и узлов подвижного состава [Текст] / В. А. Смирнов, К. В. Панов. – № 2016115036 ; Заявлено 18.04.2016 ; Опубл. 28.03.2017 ; Бюл. № 10.

7. Пат. 170076 Российская Федерация, МПК В60S 3/04. Автоматизированный комплекс дробеструйной очистки кузовов подвижного состава железных дорог [Текст] / В. А. Смирнов, К. В. Панов. – № 2016125051 ; Заявлено 22.06.2016 ; Опубл. 13.04.2017 ; Бюл. № 11.

8. Смирнов, В. А. Повышение технологической гибкости ремонтного производства [Текст] / В. А. Смирнов, К. В. Панов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2014. – Вып. 1 (2). – С. 47–50.

9. Смирнов, В. А. Применение метода активной лазерной триангуляции для решения задач автоматизации технологических процессов ремонта подвижного состава [Текст] / В. А. Смирнов, К. В. Панов // Транспорт Урала. – 2018. – № 2 (57). – С. 52–57.

10. Панов, К. В. Разработка имитационной модели деповского ремонта локомотивов учитывающую вероятность возникновения неплановых технологических операций [Текст] // Известия Транссиба. – 2018. – № 4 (36). – С. 20–28.

11. Панов, К. В. Механизация ремонта подвижного состава – современное состояние и перспективы развития [Текст] / К. В. Панов, В. А. Смирнов / Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте : Материалы научно-практической конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2014. – С. 345–350.

12. Смирнов, В. А. Перспективные формы организации локомотиворемонтного производства [Текст] / В. А. Смирнов, К. В. Панов / Труды Международной научно-практической конференции «Транспорт-2014» : В 4-х ч. / Ростов-на-Дону : Ростовский гос. ун-т путей сообщения. – 2014. – Ч. 1. – С. 121–123.

13. Смирнов, В. А. Современное состояние и перспективы развития средств механизации электромашиного производства [Текст] / В. А. Смирнов, К. В. Панов [Текст] / Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов : Материалы второй Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2014. – С. 43–49.

14. Смирнов, В. А. Сравнительный анализ современных форм организации локомотиворемонтного производства [Текст] / В. А. Смирнов, К. В. Панов // Вестник института тяги и подвижного состава. – 2015. – Вып. 11. – С. 11–15.

15. Панов, К. В. Система моделирования и управления технологическим процессом ремонта подвижного состава [Текст] / Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте : Материалы научной конференции. – Омск. – 2016. – С. 211–218.

16. Панов, К. В. Перспективы повышения автоматизации технологических комплексов на предприятиях по ремонту подвижного состава [Текст] / В сборнике : Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте материалы научной конференции. – Омск. – 2016. – С. 252–257.

17. Смирнов, В. А. Робототизация технологических процессов ремонта: проблемы и варианты решения [Текст] / В. А. Смирнов, К. В. Панов / Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов : Труды третьей Международной научно-практической конференции. – М., 2018. – С. 279–283.

18. Панов, К. В. Перспективная форма организации производства при переходе на ремонт по фактическому состоянию локомотива / Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов : Труды третьей Международной научно-практической конференции. – М., 2018. – С. 340–345.

19. Панов, К. В. Использование AnyLogic для расчета производственных потерь при ремонте электровозов [Текст] / Разработка и эксплуатация электротехнических комплексов и систем энергетики и наземного транспорта : Третья международная научно-практическая конференция. – Омск, 2018. – С. 169–176.

20. Панов, К. В. Выбор законов распределения потока заявок и простоев локомотивов на обслуживании в депо [Текст] // XI научная конференция «Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте». – Омск, 2019. – С. 134–142.

21. Буйносов А. П., Панов К. В. Имитационное моделирование процесса технических обслуживаний и текущих ремонтов электровозов в сервисном локомотивном депо [Текст] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – № 12. – С. 177–180.

---

**Панов Кирилл Вячеславович**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ  
 ГИБКИХ ФОРМ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА**

Специальность 05.02.22 – Организация производства  
(транспорт, технические науки)

Подписано в печать 12.03.2020. Формат 60×84 1/16

Усл. печ. л. 1,16. Заказ 134. Тираж 100 экз.

Издательство УрГУПС

620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66