

# ЛОГИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ СИСТЕМЫ РЕМОНТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРОМЫШЛЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Корнилов С.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

## Аннотация

Рассмотрена структура распределения ресурсов в системе ремонта подвижного состава железнодорожного транспорта. Для повышения эффективности работы ремонтных подразделений разработана математическая модель управления ресурсами рассматриваемой системы. Приводятся граничные условия функционирования модели. Представлен алгоритм управления работоспособностью ремонтного подразделения. Предлагаются логистические методы ресурсного обеспечения работоспособности системы ремонта и области их применения.

**Ключевые слова:** промышленный железнодорожный транспорт, система ремонта, ресурсы, эффективность производства, модель, логистические методы, отказ системы, работоспособность, алгоритм, управление системой.

## Актуальность проблемы

Одним из основных элементов, определяющих эффективность работы промышленного железнодорожного транспорта и качество транспортного обслуживания основного производства, является система ремонта подвижного состава. Основными конкурентными преимуществами современных предприятий, как правило, являются устойчивый рост эффективности и безопасности производства. Однако в настоящее время, практически на всех промышленных предприятиях наблюдается ухудшение качества и снижение эффективности транспортного обслуживания. Это объясняется сокращением рабочего парка подвижного состава, отсутствием динамических резервов в системе ремонта, выполнением ремонтов по устаревшим нормативам, значительным износом ремонтного оборудования. Как следствие, имеют место сверхнормативные простои локомотивов и вагонов в ремонте и в ожидании ремонта, происходит переход от планово-предупредительных к аварийным ремонтам, повышается потребность в ресурсах для выполнения ремонтов [12, 15, 18, 20].

Установлено, что фактический уровень обеспечения ресурсами от потребностей существующей системы ремонта подвижного состава составляет 65-75%. За последние 10 лет он снизился в 1.5-2 раза, а снижение запасов и резервов системы составило, соответственно, 2-2.5 и 2.5-3 раза [19].

## Методы и методика исследования

Эффективность системы ремонта определяется абсолютным по величине расходом ресурсов на выполнение ремонтной программы, удельными затратами ресурсов на единицу планового и непланового ремонта подвижного состава, полнотой возобновления ресурса вагонов и локомотивов в процессе ремонтных

воздействий [5, 8, 13].

В общем случае, ресурсы, выделяемые производственной системой на ремонт и содержание локомотивного и вагонного парка предприятия, распределяются следующим образом. Основная часть расходуется на возобновление ресурса подвижного состава, значительная часть – на непосредственное проведение ремонтов и на содержание самой системы ремонта, определенное количество ресурсов резервируется и запасается. Имеют место производственные отходы и потери (рис. 1) [16, 21]. Соотношения между объемами перечисленных ресурсных потоков так же влияют на эффективность системы ремонта.

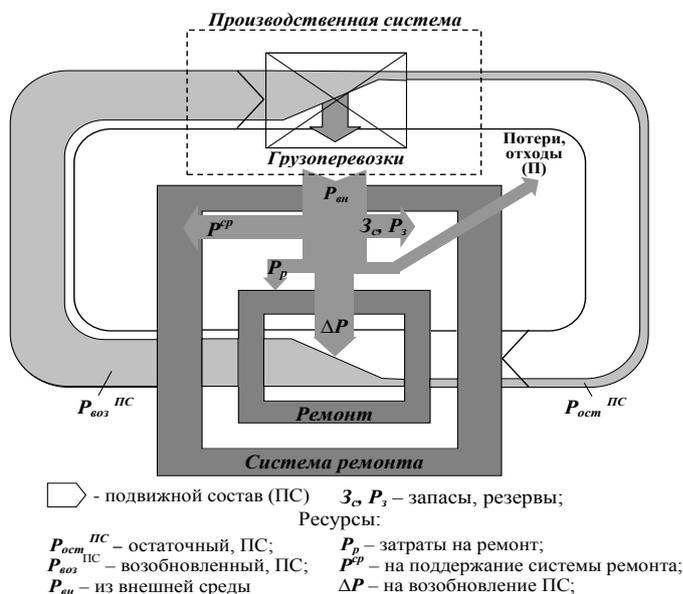


Рис. 1. Формализованное представление процесса распределения ресурсов в системе ремонта подвижного состава промышленного железнодорожного транспорта

Для управления ресурсами и запасами ремонтного подразделения и перевода его на более высокие уровни эффективности разработана математическая модель.

Модель основана на следующих допущениях:

- количество отказов при выполнении технологических операций зависит от нагрузки на техническую и технологическую подсистемы ремонтного подразделения. Величина нагрузки характеризуется величиной отклонения от средней производительности технических объектов и технологических ремонтных линий и отделений. Определённый уровень отклонений производительности, при котором не возникают отказы, условно назван ресурсным резервом ремонтного подразделения;
- количество отказов отдельных технических объектов зависит от состояния элементов организационной и технологической подсистем. Состояние элементов характеризуются двумя основными показателями – степенью износа основных фондов и квалификацией персонала. Определённый уровень этих показателей, при котором не возникают отказы, условно назван структурным резервом ремонтного подразделения;
- количество отказов технологических линий и других структурных элементов зависит от способности организационной подсистемы обнаруживать, локализовать и устранять причины возникновения отказов. Степень опасности и сложности устраняемого отказа (или приводящих к нему причин) оценивается интегральным показателем, учитывающим масштаб отказа, время и затраты на его устранение. Масштаб отказа характеризуется снижением плановой производительности ремонтного подразделения в результате остановки одного или нескольких участков для устранения отказа или выявленного нарушения. Способность организационной подсистемы локализовать отказ (уменьшить его масштаб) за установленное время и за счет привлечения минимума материальных или финансовых средств условно назван функциональным резервом ремонтного подразделения;
- величины ресурсных, структурных и функциональных резервов, необходимых для обеспечения работоспособности ремонтного подразделения, являются нормируемыми (задаваемыми) величинами и используются в качестве основных ограничений, накладываемых на переменные модели.

Целевая функция задачи управления ресурсопотреблением и эффективностью работы ремонтного подразделения состоит в минимизации прироста отказов (сбоев) в течение отчётного (заданного) отрезка времени [1]

$$\sum_{t=1}^{T_0} \sum_{i=1}^N (m_{i,t-1} - m_{i,t}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $t$  – расчётный момент времени;  $T_0$  – отчётный период;  $N$  – количество участков (элементов) в составе ремонтного подразделения;  $i$  – номер участка ремонтного подразделения;  $m_{i,t}$  – количество отказов (сбоев)

на  $i$ -м участке ремонтного подразделения в  $t$ -й момент времени

$$m_{i,t} = \sum_i (1 - m_i), \quad (2)$$

где  $m_i$  – признак работоспособности  $i$ -го участка, значение  $m_i=1$  означает полную работоспособность участка, в противном случае  $m_i=0$ .

Все ограничения, накладываемые на целевую функцию, задают уровень требований к ресурсопотреблению и эффективности работы. Количество отказов ограничивается имеющимися в ремонтном подразделении ресурсными, структурными и функциональными резервами:

- ограничение на ресурсный резерв – сумма отклонений производительности каждого участка (элемента) ремонтного подразделения  $s_i$  от заданного интервала  $[Q_{min}, Q_{max}]$  не должна превышать нормируемого по условию надёжности значения  $S$

$$\sum_{i=1}^N s_i \leq S, \quad \text{где} \quad (3)$$

$$\begin{cases} s_i = 1, \text{ при } Q_{min} \leq q_i \leq Q_{max}; \\ s_i = 0, \text{ при } q_i < Q_{min} \text{ или } q_i > Q_{max}; \end{cases}$$

- ограничения на структурный резерв – суммарная величина износа основных фондов  $pf_i$  и средний уровень квалификации работников  $pl_i$  по всем участкам ремонтного подразделения не должны отклоняться от нормируемых безопасных значений, соответственно –  $PF$  и  $PL$

$$\sum_{i=1}^N pf_i \leq PF, \quad \text{где} \quad (4)$$

$$\begin{cases} pf_i = 1, \text{ при } pf_i \leq PF_{max}; \\ pf_i = 0, \text{ при } pf_i > PF_{max}; \end{cases}$$

$$\sum_{i=1}^N pl_i \leq PL, \quad \text{где} \quad (5)$$

$$\begin{cases} pl_i = 1, \text{ при } pl_i \leq PL_{max}; \\ pl_i = 0, \text{ при } pl_i > PL_{max}; \end{cases}$$

- ограничение на масштаб отказа – падение производительности ремонтного подразделения в результате остановки его участков для устранения выявленного нарушения не должно превышать заданной величины. В этом случае нарушение считается не опасным, в противном случае – опасным. Остановка участка ремонтного подразделения может быть осуществлена по трём основным причинам: произошло отклонение производительности участка от установленных величин; износ основных фондов на участке превысил допустимый уровень; средняя оценка квалификации работников на участке ниже установленного уровня

$$\sum_{i=1}^N (m_i \cdot q_i) = Q \pm \Delta Q, \quad \text{где} \quad (6)$$

$$\begin{cases} m_i = 1, \text{ при } s_i = 1, pf_i = 1, pl_i = 1; \\ m_i = 0, \text{ при } s_i = 0, pf_i = 0, pl_i = 0, \end{cases}$$

где  $m_i$  – признак работоспособности  $i$ -го участка;  $q_i$  – средняя (расчётная, плановая) производительность  $i$ -го участка;  $Q$  – средняя (расчётная, плановая) производительность ремонтного подразделения;  $\Delta Q$  – величина допустимого отклонения от расчётной производительности ремонтного подразделения;

- ограничение на время устранения отказа (фактора, который может привести к отказу) на  $i$ -м участке

$$\sum_{i=1}^N (1 - m_i) \cdot t_i \leq T + \Delta T, \quad \text{где} \quad (7)$$

$$\begin{cases} m_i = 1, \text{ при } s_i = 1, pf_i = 1, pl_i = 1; \\ m_i = 0, \text{ при } s_i = 0, pf_i = 0, pl_i = 0, \end{cases}$$

где  $t_i$  – продолжительность устранения отказа (фактора приводящего к отказу) на  $i$ -м участке;  $T$  – допустимое для ремонтного подразделения время на устранение отказов (выявленных факторов);  $\Delta T$  – допустимое превышение продолжительности работ (мероприятий) по устранению отказов (выявленных факторов);

- ограничение на финансовые (материальные) резервы, имеющиеся в ремонтном подразделении и используемые для устранения отказов (факторов) на  $i$ -м участке

$$\sum_{i=1}^N (1 - m_i) \cdot r_i \leq R + \Delta R, \quad \text{где} \quad (8)$$

$$\begin{cases} m_i = 1, \text{ при } s_i = 1, pf_i = 1, pl_i = 1; \\ m_i = 0, \text{ при } s_i = 0, pf_i = 0, pl_i = 0, \end{cases}$$

где  $r_i$  – денежные (материальные) ресурсы, необходимые для устранения отказа (фактора) на  $i$ -м участке;  $R$  – имеющиеся в ремонтном подразделении денежные (материальные) ресурсы, используемые для устранения отказов (выявленных факторов);  $\Delta R$  – допустимое превышение стоимости (материалоёмкости) работ по устранению отказов (выявленных факторов).

В такой постановке задача минимизации прироста количества отказов (факторов, приводящих к отказам) решается для заданной величины ресурсных, структурных и функциональных резервов [17]. Как только достигается минимум целевой функции (прирост отказов остановлен) при заданных величинах резервов, необходимо осуществлять переход на более высокий уровень эффективности работы ремонтного подразделения. Для этого изменяются граничные условия задачи – задаётся новое количество ресурсных, структурных и функциональных резервов ремонтного подразделения. Минимизация прироста отказов позволяет привести производительность ремонтного подразделения к заданному уровню, создаёт запасы и резер-

вы (финансов, материалов и времени), необходимые для перевода ремонтного подразделения на более высокий уровень эффективности. На более высоком уровне эти запасы и резервы расходуются для устранения отказов, которые на текущем уровне, в силу более жёстких ограничений, переходят из разряда безопасных и легкоустраняемых в разряд опасных и тяжелоустраняемых.

Таким образом, при ограниченных резервах невозможно обеспечить требуемую производительность ремонтного подразделения по видам, объёмам и срокам ремонтов железнодорожного подвижного состава при минимальном приросте отказов. Снижение резервов производительности и количества отказов приводит к тому, что условия 4 и 5 (частично и 3) перестают быть граничными, т.е. возникает резерв финансов, материалов, времени и масштаба. Граничным остаётся условие 1 (частично 2). При ужесточении требований к производительности, условия 3, 4 и 5 снова становятся граничными.

Фактически, условия 3, 4 и 5 являются своеобразным «фильтром» для определения опасных и (или) тяжелоустраняемых отказов. Наличие отказов, не прошедших через эти фильтры, снижает производительность (ограничение 1). Требуемая производительность достигается при отсутствии опасных и тяжелоустраняемых отказов, т.е. при переводе их в категорию безопасных и легкоустраняемых.

Разработанная модель позволяет последовательно осуществлять перевод ремонтного подразделения на более высокие уровни эффективности его функционирования и значительно понизить расход ресурсов.

Для локализации действия негативных факторов, в ремонтном подразделении создаются промежуточные ёмкости – буферы между отдельными элементами или технологическими процессами системы. В ремонтном подразделении в качестве одного из таких буферов выступают запасы отставившихся (восстановленных) узлов и агрегатов, запчастей и комплектующих, создаваемые на складах в результате опережения ремонтных работ или наличия оборотно-го фонда.

На **рис. 2** разработанная математическая модель представлена в виде алгоритма управления эффективностью и работоспособностью ремонтного подразделения.

Разработанный алгоритм направлен на оптимизацию резервов и разработку вариантов перевода ремонтного подразделения на более высокие уровни эффективности и работоспособности.

Изменение соотношения цен на подвижной состав, запасные части, материалы, комплектующие, ремонтное оборудование, транспортные тарифы, а также отсутствие долгосрочных прогнозов о состоянии рынка готовой продукции предприятий, значительно усложнило задачу управления запасами в ремонтных подразделениях. Решения этих оптимизационных задач осуществляются в ограниченном интервале регулируемых параметров и не могут быть применены для ремонтных подразделений промышлен-



Рис. 2. Алгоритм управления эффективностью и работоспособностью ремонтного подразделения

ного железнодорожного транспорта предприятий, на которых для сохранения их жизнеспособности необходимо значительное увеличение эффективности их функционирования [3, 6, 7].

Использование для управления ремонтными подразделениями потоковых моделей, построенных на логистических принципах, позволяет с новых позиций подойти к разработке методов ресурсного обеспечения работоспособности организационно-технологических систем локомотивных и вагонных депо предприятий [1, 2, 4, 9].

Анализ функционирования ремонтного подразделения как производственной логистической системы показывает, что в нём могут быть выделены следующие критические объекты, являющиеся причинами отказов и сбоев в работе системы:

- неоптимальный поток ресурсов, определяемый несоответствием объема и качества ресурсов потребностям следующего элемента ремонтной логистической системы в каждый момент времени;
- лимитирующий элемент, определяемый свойствами отдельных элементов и связей между ними;
- ведущее ограничение, определяемое предельными параметрами совокупности элементов логистической цепи;
- несогласованная система целей, определяемая неэффективной ремонтной программой деятельности ремонтного подразделения.

Предлагаемые методы ресурсного обеспечения работоспособности сводятся к созданию и реализации резервов по трём основным логистическим потокам: материальному, информационному и финансовому [10, 11, 14]. В соответствии с выделенными объектами логистической системы, основными методами ресурсного обеспечения работоспособности являются:

- оптимизация элементов системы – включает оптимизацию или регулирование параметров ресурсных потоков или элементов системы ремонта. Реализация этого метода осуществляется без изменения структуры ремонтного подразделения за счёт увеличения или уменьшения оборотного фонда, запасов комплектующих и запасных частей на складе, количества единиц подвижного состава с возобновлённым ресурсом на железнодорожных путях депо и т.д.;
- улучшение конструкции системы – предполагает применение совокупности технических, технологических и организационных приёмов и решений для изменения отдельных элементов ремонтного подразделения и связей между ними. В результате улучшается структура ремонтной зоны путём воздействия на элементы, препятствующие протеканию логистических потоков с заданными значениями параметров, за счёт: создания буферных складов; изменения порядка формирования ремонтной программы; корректировки периодичности и сроков проведения ремонтов подвижного состава; увеличения мощности отдельных участков и т.п.;
- новые принципы функционирования системы – производится путём замены отдельных элементов системы в результате применения новых видов

оборудования, новых технологий и т.п.;

- разработка новой системы, изменение области применения существующей системы – основан на программно-целевом планировании и управлении и производится частичным или полным изменением существующей ремонтной логистической системы, предполагает освоение новых подходов к организации ремонта железнодорожного подвижного состава.

Обеспечение работоспособности ремонтного подразделения осуществляется на всех уровнях управления и заключается в регулировании параметров ресурсных потоков, расширении узких звеньев, снятии ведущих ограничений и программно-целевом управлении соответствующими методами [2, 16] (табл. 1).

Каждый из методов характеризуется комплексом действий и особенностей [22]:

- метод оптимизации элементов системы (ОЭС) – включает текущее планирование, координацию, контроль и анализ, которые обеспечивают заданные объем, скорость, интенсивность и качество потоков;
- метод улучшения конструкции системы (УКС) обеспечивается совокупностью технических и организационных приёмов и решений для изменения структуры отдельных элементов ремонтного подразделения и связей между ними. Этот метод чаще сводится к максимальной реализации возможностей, предоставляемых уже имеющимся ремонтным оборудованием и оснасткой. Основными принципами при этом являются экономичность и гибкость элементов логистической системы, обеспечение максимальной управляемости, ориентация на достижение поставленных целей;
- метод новых принципов использования системы (НПИС) включает совокупность мероприятий: реорганизация (реконструкция) ремонтного подразделения или отдельных технологических линий; ввод нового ремонтного оборудования и оснастки; частичная модернизация старого оборудования; оперативные организационные меры по ликвидации ограничения, которое создаёт угрозу потери работоспособности всей системы ремонта. Предпочтение отдаётся мероприятиям, характеризующимся наименьшим ресурсопотреблением и наибольшей экономической эффективностью [3];
- программно-целевой метод (ПЦМ) определяется совокупностью мероприятий по целеполаганию (целеобразованию), разработке и обоснованию стратегических программ. Метод основан на формулировании целей экономического развития. Оценка и выбор возможных вариантов программ производится по критерию чистого дисконтированного дохода [3].

Взаимосвязь процессов, методов и объектов ресурсного обеспечения работоспособности ремонтного

подразделения можно представить в виде некоторой иерархии, в которой прослеживается их «вложенность» (рис. 3).

В табл. 2 показаны результаты изменений в двух элементах системы ремонта, представленной как логистической системы - во входном и перерабатывающем элементе (участок ремонта). Каждому уровню резервирования поставлен в соответствие определённый набор методов управления и объектов резервирования. Выстраивая цепочку последовательных действий по их осуществлению, можно видеть «вложенность» этих методов.

Программно-целевой метод включает определение системы целей и увязку целей плана с ресурсами с помощью программ деятельности (стратегическое планирование), он же диктует необходимость определения ведущих ограничений и мероприятий по их снятию, что, в свою очередь, обуславливает структурные преобразования по расширению узких мест и регулирование ресурсных потоков.

Каждый из методов ресурсного обеспечения работоспособности имеет наибольшую эффективность на соответствующем временном интервале планирования [1] (табл. 3).

Таким образом, соответствие фактических параметров материальных, информационных и финансовых потоков оптимальным значениям обеспечивается: в краткосрочном периоде – ресурсными и структурными резервами; в долгосрочной перспективе – функциональными резервами и системой управления резервами.

Взаимосвязь методов ресурсного обеспечения работоспособности определяется их иерархией, когда более высокие уровни резервирования вызывают необходимость изменения структуры резервов на нижних уровнях. Эта взаимосвязь обусловлена функциями уровней управления.

Каждому уровню работоспособности соответствует определённая группа технологий, характеризующаяся соответствующими значениями избыточности персонала, оборудования и ресурсов. Только поэтапное снижение внутрипроизводственных резервов с одновременным повышением уровня работоспособности позволяет выйти на требуемый уровень и впоследствии удерживаться на нем в результате формирования потока организационных преобразований и использования наиболее прогрессивных ремонтных технологий.

Реализацию указанных методов невозможно осуществить без соответствующих изменений в системе управления персоналом, направленных на выработку у персонала необходимых компетенций в области ресурсного обеспечения работоспособности ремонтного подразделения.

Таблица 1

**Иерархия методов управления резервами**

Виды резервов	Объекты резервирования	Методы	Управляемые параметры
Ресурсный	Потоки логистической системы	Оптимизация элементов системы (ОЭС)	Время, объем ремонтов
Структурный	Элементы логистической системы	Улучшение конструкции системы (УКС); ОЭС	Производительность элементов логистической системы, затраты
Функциональный	Логистическая система (элементы, связи)	Новые принципы использования системы (НПИС); УКС; ОЭС	Производительность логистической системы, затраты
Система управления резервами	Ремонтная зона (элементы, связи, функций)	Программно-целевой метод (ПЦМ); НПИС; УКС; ОЭС	Производительное время работы подвижного состава, эффективность ремонтов

Уровни резервирования	Методы обеспечения работоспособности			
	Программно-целевой метод	Новые принципы использования системы	Улучшение конструкции системы	Оптимизация элементов системы
Система управления резервами	1			
Функциональный резерв		2		
Структурный резерв			3	
Ресурсный резерв				4

Рис. 3 Иерархия и взаимосвязь методов обеспечения работоспособности и объектов резервирования

Объекты резервирования:

- 1 – система целей;
- 2 – структура и функции;
- 3 – элементы;
- 4 – алгоритмы действий.

Таблица 2

**Объекты управления процессом обеспечения работоспособности ремонтного подразделения**

Методы по уровню воздействия	Методы по объекту воздействия	
	Входной элемент	Участок ремонта
Программно-целевой метод	Изменение функций складской подсистемы	Изменение функции ремонтной подсистемы
Новые принципы использования системы	Изменение мощности складской подсистемы	Изменение мощности ремонтной подсистемы
Улучшение конструкции системы	Изменение затрат на хранение запчастей на складе	Изменение постоянных или переменных затрат на проведение ремонтов
Оптимизация элементов системы	Изменение запаса запчастей в пределах мощности склада	Изменение объёмов ремонтов в пределах производственной мощности

Таблица 3

**Классификация потока решений и действий**

Методы управления	Цикл планирования	Характерные потоки решений и действий	Ограничивающие факторы
Программно-целевой метод	Долгосрочное (от 5 до 10 лет)	Полное или частичное изменение организации ремонтов	Объёмы основного обслуживаемого производства
Новые принципы использования системы	Долгосрочное (от 3 до 5 лет)	Прогноз состояния подвижного состава; выбор типа и количества оборудования	Долговечность оборудования, доступность финансовых ресурсов
Улучшение конструкции системы	Среднесрочное (от 1 до 3 лет)	Целесообразный уровень вложений в развитие участков и технологической системы ремонта в целом	Потребность в исправном подвижном составе, производительность ремонтного подразделения
Оптимизация элементов системы	Текущее (менее 1 года)	Стоимость ремонта; объёмы ремонтов по видам; сроки и периодичность ремонтов; условия финансирования	Производительность ремонтных участков, доступность материальных ресурсов

## Список литературы

1. Рахмангулов А.Н., Трофимов С.В., Корнилов С.Н., Дудкин Е.П. и др. Транспортная логистика. -СП-б.: ПГУПС, 2003. 279 с.
2. Рахмангулов А.Н., Трофимов С.В., Корнилов С.Н. Управление транспортными системами. Теоретические основы: Учеб. пособие. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2001. 191с.
3. Трофимов С.В., Рахмангулов А.Н., Корнилов С.Н. Методы развития систем промышленного железнодорожного транспорта в изменяющихся условиях деятельности предприятий. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2004. 235 с.
4. Гавришев С.Е., Рахмангулов А.Н. и др. Управление развитием горнодобывающего предприятия. Информационные модели и методы. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2002. 245 с.
5. Корнилов С.Н., Бабенцев Д.Ю., Довженко А.С. Проблемы эксплуатации железнодорожного транспорта ЗАО «ЛутЭК» // Горный информ.-аналит. бюл. 2003. № 8. С.136-139.
6. Рахмангулов А.Н., Осинцев Н.А. Управление вагонопотоками в промышленных транспортных системах // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2013. №1(61). С.16-20.
7. Рахмангулов А.Н., Корнилов С.Н., Кольга А.Д. Обеспечение своевременности грузовых перевозок в транспортно-технологических системах // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2014. №1(45). С.115-121.
8. Корнилов С.Н., Рахмангулов А.Н., Дудкин Е.П., Горшенин А.А. Логистика ремонта железнодорожного подвижного состава. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2005. 185 с.
9. Достижение качества через преобразование. Подход к улучшению управленческой деятельности. URL: [http://deming.ru/TehnUpr/ PodhKULuch\\_Print.htm](http://deming.ru/TehnUpr/ PodhKULuch_Print.htm)
10. Бродский Г.Л. Экономико-математические методы и модели в логистике. Потоки событий и системы обслуживания. М.: Академия, 2011. 272 с.
11. Рахмангулов А.Н. Железнодорожные транспортно-технологические системы: организация функционирования. Магнитогорск: Изд-во Магнит. гос. техн. ун-та, 2014. 300 с.
12. Попов А.Т., Афанасьев В.С. Надежность работы железнодорожного транспорта // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2012. №2. С.274-279.
13. Боднар О.В., Корнилов С.Н. Мероприятия по сокращению времени простоя вагонов в ремонте / Современные проблемы транспортного комплекса России. 2011. № 1. С.144-150.
14. Корнилов С.Н., Трофимов С.В. Управление параметрами потоков материальных и финансовых ресурсов в подразделениях по ремонту железнодорожного подвижного состава горнодобывающих предприятий / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2003. № 9. С.44-59.
15. Дудкин Е.П., Корнилов С.Н. Оценка эффективности системы ремонта подвижного состава промышленного железнодорожного транспорта и планирование этапов ее реконструкции / Транспорт: наука, техника, управление. 2003. № 10. С.13-16.
16. Корнилов С.Н., Антонов А.Н. Моделирование процесса управления ресурсами в системе ремонта подвижного состава промышленного железнодорожного транспорта // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения, 2010. № 2 (6). С. 57–65.
17. Rakhmangulov A.N., Kolga A.D., Osintsev N.A., Stolpovskikh I.N., Sladkowski A.V. Mathematical Model of Optimal Empty Rail Car Distribution at Railway Transport Nodes. Transport Problems. 2014. Vol. 9. №3. pp. 125-132.
18. Sladkowski A., Pamula T. Intelligent transportation systems - problems and perspectives. Springer, Studies in Systems Decision and Control, Volume 32, Switzerland, 2016, 303 p.
19. Попов А.Т., Воронина О.В. Проблемы существующей организации внутризаводских перевозок в условиях комбината / Современные проблемы транспортного комплекса России. 2014. № 5. С.29-37.
20. A. Fugenschuh, H. Homfeld, A. Huck, A. Martin & Z. Yuan, Scheduling Locomotives and Car Transfers in Freight Transport. Transportation Science, vol. 42, pp. 1-14.
21. T.G. Crainic, G. Laporte, Planning models for freight transportation // European Journal of Operational Research, 1997, vol. 3, pp. 409-438.
22. Рахмангулов А.Н., Орехова Н.Н., Осинцев Н.А. Концепция системы повышения квалификации преподавателей в области экологического образования на основе логистической модели устойчивого развития // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2016. Т.6. №1. С.4-18.

Материал поступил в редакцию 05.09.16

## INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

## LOGISTICS METHODS FOR RESOURCE MANAGEMENT OF THE REPAIR SYSTEM OF ROLLING STOCK ON THE INDUSTRIAL RAIL TRANSPORT

Kornilov Sergey Nikolaevich – D.Sc. (Eng.), Associate Professor

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7-9028-97-59-01. E-mail: kornilov\_sn@mail.ru

**Abstract**

The distribution of resources in system of repair is considered. The mathematical management model of system's resources is developed to increase the operation's efficiency of repair divisions. Boundary conditions of operating model are proposed. The control algorithm based on the efficiency of repair division is represented. Logistic methods of resource maintenance of examined system efficiency and area of their application are offered.

**Keywords:** industrial rail transport, repair system, resources, efficiency, model, logistic methods, systems failure, performance, algorithm, system management.

## References

1. Rakhmangulov A.N., Trofimov S.V., Kornilov S.N., Dudkin E.P. and others. Transportnaya logistika [The transport logistics]. St. Petersburg: PSTURT, 2003, 279 p. (In Russ.)
2. Rakhmangulov A.N., Trofimov S.V., Kornilov S.N. Transport management systems. Upravlenie transportnyimi sistemami. Teoreticheskie osnovy: ucheb. posobie [Theoretical Foundations: Proc. Allowance]. Magnitogorsk: Izd-vo Magnitogorsk. gos. teh. un-ta im. G.I. Nosova, 2001, 191 p. (In Russ.)
3. Trofimov S.V., Rakhmangulov A.N., Kornilov S.N. Metody razvitiya sistem promyshlennogo zheleznodorozhnogo transporta v izmenyayushchihya usloviyah deyatel'nosti predpriyatiy [Methods of industrial railway transport systems in a changing environment of enterprises]. Magnitogorsk: Izd-vo Magnitogorsk. gos. teh. un-ta im. G.I. Nosova, 2004, 235 p. (In Russ.)
4. Gavrishchev S.E., Rakhmangulov A.N. and others. Upravlenie razvitiem gomodobivayushchego predpriyatiya. Informatsionnyie modeli i metody [Management of development of the mining enterprise. Information models and methods]. Magnitogorsk: Izd-vo Magnitogorsk. gos. teh. un-ta im. G.I. Nosova, 2002, 245 p. (In Russ.)
5. Kornilov S.N., Babenchev D.Y., Dovzhenok A.S. Problemy ekspluatatsii zheleznodorozhnogo transporta ZAO «LuTEK» [Problems of the railway transport operation of JSC «LuTEK»] // Gornyy inform.-analit. byul. [Mining inform. -analyte. Bull]. 2003, no. 8, pp.136-139. (In Russ.)
6. Rakhmangulov A.N., Osintsev N.A. Upravlenie vagonopotokami v promyshlennykh transportnykh sistemah [Management of traffic volumes in the industrial transport systems] // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta im. G.I. Nosova [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, vol. 61, no. 1, pp.16-20. (In Russ.)
7. Rakhmangulov A.N., Kornilov S.N., Kolga A.D. Obespechenie svoevremennosti gruzovykh perevozok v transportno-tehnologicheskikh sistemah [Ensuring the timeliness of freight traffic in the transport-technological systems] // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta im. G.I.Nosova [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2014. vol.45, no. 1, pp.115-121. (In Russ.)
8. Kornilov S.N., Rakhmangulov A.N., Dudkin E.P., Gorshenin A.A. Logistika remonta zheleznodorozhnogo podvzhnogo sostava [Logistics repair of railway rolling stock]. Magnitogorsk: Izd-vo Magnitogorsk. gos. teh. un-ta im. G.I. Nosova, 2005, 185 p. (In Russ.)
9. Dostizhenie kachestva cherez preobrazovanie. Podhod k uluchsheniyu upravlencheskoy deyatel'nosti [Achieving quality through conversion. The approach to improve management]. Available at: [http://deming.ru/TehnUpr/ PodhKULuch\\_Print.htm](http://deming.ru/TehnUpr/ PodhKULuch_Print.htm). (In Russ.)

10. Brodetsky G.L. Ekonomiko-matematicheskie metody i modeli v logistike. Potoki sobyitiy i sistemy obsluzhivaniya [Economic-mathematical methods and models in logistics. Flows of events and system maintenance]. Moscow: Academy, 2011. 272 p. (In Russ.)
11. Rakhmangulov A.N. Zheleznodorozhnyie transportno-tehnologicheskie sistemy: organizatsiya funktsionirovaniya [Railway transport and technology systems: the functioning of the organization]. Magnitogorsk: Izd-vo Magnitogorsk. gos. tehn. un-ta im. G.I. Nosova, 2014. 300 p. (In Russ.)
12. Popov A.T., Afanasyev V.S. Nadezhnost raboty zheleznodorozhnogo transporta [The reliability of rail transport] // *Sovremennyye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern Problems of Russian Transport Complex]. 2012, no. 2, pp. 274-279. (In Russ.)
13. Bodnar O.V., Kornilov S.N. Meropriyatiya po sokrascheniyu vremeni prostoya vagonov v remonte [Measures to reduce the downtime of wagons to be repaired] // *Sovremennyye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern Problems of Russian Transport Complex]. 2011, no. 1, pp.144-150. (In Russ.)
14. Kornilov S.N., Trofimov S.V. Manage Settings streams of material and financial resources in the unit for repair of railway rolling stock mining / Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2003. № 9. Pp.44-59. (In Russ.)
15. Dudkin E.P., Kornilov S.N. Evaluation of the effectiveness of the repair of rolling stock railway transport and industrial planning stages of its reconstruction / *Transport: science, technology, management*. 2003. № 10. Pp.13-16. (In Russ.)
16. Kornilov S.N., Antonov A.N. Modelirovanie protsessa upravleniya resursami v sisteme remonta podvizhnogo sostava promyshlennogo zheleznodorozhnogo transporta [Simulation process management system in repair of rolling stock railway transport industry] // *Vestnik Uralskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobscheniya* [Herald of the Ural State University of Railway Transport]. 2010, vol. 6, no. 2, pp. 57-65. (In Russ.)
17. Rakhmangulov A.N., Kolga A.D., Osintsev N.A., Stolpovskikh I.N., Sladkowskii A.V. Mathematical Model of Optimal Empty Rail Car Distribution at Railway Transport Nodes. *Transport Problems*. 2014. vol. 9. №3. pp. 125-132.
18. Sladkowski A., Pamula T. Intelligent transportation systems - problems and perspectives. Switzerland: Springer, *Studies in Systems Decision and Control*, 2016, vol. 32, 303 p.
19. Popov A.T., Voronina O.V. Problemy suschestvuyushey organizatsii vnutrizavodskih perevozok v usloviyah kombinata [Current organization problems of internal transportation in iron and steel works conditions] // *Sovremennyye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern Problems of Russian Transport Complex]. 2014, no. 5, pp.28-37. (In Russ.)
20. A. Fugenschuh, H. Homfeld, A. Huck, A. Martin & Z. Yuan. Scheduling Locomotives and Car Transfers in Freight Transport. *Transportation Science*. 2008, vol. 42, pp. 1-14.
21. T.G. Crainic, G. Laporte. Planning models for freight transportation // *European Journal of Operational Research*. 1997, vol. 3, pp. 409-438.
22. Rakhmangulov A.N., Orekhova N.N., Osintsev N.A. Kontseptsiya sistemy povysheniya kvalifikatsii prepodavateley v oblasti ekologicheskogo obrazovaniya na osnove logisticheskoy modeli ustoychivogo razvitiya [The concept of a system for advanced training teachers in the field of the ecological education on the basis of logistics model of sustainable development] // *Sovremennyye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern Problems of Russian Transport Complex]. 2016, vol. 6, no. 1, pp. 4-18. (In Russ.)

Received 05/09/16

Корнилов С.Н. Логистические методы управления ресурсами системы ремонта подвижного состава промышленного железнодорожного транспорта // *Современные проблемы транспортного комплекса России*. 2016. Т.6. №2. С.8-15

Kornilov S.N. Logistics methods for resource management of the repair system of rolling stock on the industrial rail transport // *Sovremennyye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern Problems of Russian Transport Complex]. 2016, vol. 6, no. 2, pp.8-15