



21-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2018 m. gegužės 4-5 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 21th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 4-5 May 2018, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 21-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 4-5 мая 2018 г., Вильнюс, Литва

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОТЫ ЦЕХА РЕМОНТА ЛОКОМОТИВОВ

Александр Очкасов, Татьяна Гришечкина, Максим Очеретнюк

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им.
Академика В. Лазаряна, Днепр, Украина,
E-mail: abochkasov@gmail.com*

Аннотация. Обоснована актуальность задачи организации постановки локомотивов в ремонт, обеспечивая при этом заданный уровень надежности подвижного состава, ритмичность и равномерность работы ремонтных цехов, а так же логистику поставки запасных частей. Сформулированы задачи, которые необходимо решить при усовершенствовании системы планирования ремонта локомотивов и организации работы ремонтных подразделений. Приведено описание структуры системы массового обслуживания – цеха по ремонту локомотивов. Назначение работы заключается в создании описания модели ремонтного цеха депо как многоканальной системы массового обслуживания с ожиданием. Сформулированы задачи, решаемые при моделировании ремонтного цеха, приведен перечень исходных данных и ожидаемых результатов моделирования.

Ключевые слова: система массового обслуживания, система технического обслуживания и ремонта локомотивов, цех ремонта локомотивов.

Введение

Локомотив – это сложная техническая система, состоящая из взаимодействующих подсистем различной физической природы. Причем работоспособность большинства подсистем является критичной с точки зрения работоспособности локомотива и безопасности движения. Для обеспечения заданного уровня надежности и безопасности движения предназначена система технического содержания локомотива.

С точки зрения эксплуатирующей компании, локомотив это часть общей системы управления локомотивным парком. При этом на выбор системы содержания локомотива влияют такие факторы как: характеристика ремонтного предприятия, род службы и условия эксплуатации, история эксплуатации каждого локомотива (электронный паспорт), уровень оснащенности и загрузки ремонтного предприятия, статистика отказов узлов локомотива и локомотивов данной серии, а также ряд других факторов.

Для любой транспортной компании важным является вопрос – какой ценой достигается заданный уровень надежности и безопасности, и каковы возможные риски?

Актуальность

Широко распространенной на территории стран бывшего СССР, и не только, является планово-предупредительная система содержания и ремонта (ППР). Необходимо отметить, что достоинством системы ППР можно считать простоту планирования и организации работы ремонтных служб. Однако высокие требования к надежности подвижного состава вместе с необходимостью сокращения расходов на ремонты и техобслуживание показывают, что система ППР не соответствует современным стандартам. Для современных локомотивов, оборудованных бортовыми системами диагностирования, морально устаревшую систему ППР необходимо заменить на более современную.

Альтернативами ППР могут быть комбинированная система ремонта или система ремонта по фактическому техническому состоянию (Bodnar, Ochkasov 2017). Достоинством подобных систем является исключение регламентных работ выполняемых для предупреждения возникновения отказа, что приводит к сокращению стоимости ремонтного цикла. Недостатком этих систем на сегодняшний день является отсутствие возможности определения остаточного ресурса

всех без исключения узлов локомотива. В этом случае возникает задача организации постановки локомотивов в ремонт, обеспечивая при этом заданный уровень надежности, ритмичность и равномерность работы ремонтных цехов, а так же логистику поставки запасных частей.

Постановка проблемы

На основании выше изложенного и анализа существующих систем управления локомотивным парком можно сформулировать основные задачи, которые необходимо решить при усовершенствовании системы планирования ремонта локомотивов и организации работы ремонтных подразделений:

- разработка методики планирования загрузки ремонтных подразделений с учетом технического состояния локомотивного парка и объема планируемых ремонтных работ;
- разработка методики планирования материально-технического обеспечения ремонтных подразделений с учетом технического состояния локомотивного парка и объема планируемых ремонтных работ.

Анализ последних исследований и публикаций

Для повышения эффективности системы технического обслуживания и ремонта локомотивов в (Berestovoy, Lyamzin 2003) предложен метод экономико-математического моделирования. Суть данного метода заключается в том, что множество элементов системы технического обслуживания и ремонта локомотивов рассматриваются как совокупность, состоящая из ремонтных модулей с ограниченными технологическими возможностями и конечной величиной объема выполненных работ. В модели учтены технические ограничения, накладываемые на ремонтные модули, факторы, влияющие на эксплуатацию локомотивов, а также экономические факторы (штрафные санкции за нарушение длительности ремонтного цикла, стоимость ремонта локомотива и оборудования ремонтных модулей).

Возможность использования подходов теории массового обслуживания с целью моделирования процессов постановки на ремонт и его выполнения, анализа загрузки ремонтных стоил расчета их потребного количества рассмотрена в работе (Ochkasov *et al.* 2017). Показана связь эксплуатационных параметров локомотивного парка и загрузки ремонтных подразделений. Выполнен анализ исследований посвященных моделированию системы эксплуатации локомотивного парка. Рассмотрены основные положения теории массового обслуживания применительно к системе технического содержания локомотивного парка.

В работе (Gurieva, Chernetska-Beletskaaya 2015) представлена математическая модель оптимизации плана замены узлов локомотива, которая основана на анализе моделирования процессов технического обслуживания. При математическом моделировании процесса технического обслуживания локомотив

представлен как сложный технический объект, состоящий из ряда узлов. При моделировании известными принимаются трудоемкость ремонта, нормативные сроки замены оборудования, мощность ремонтных подразделений, сроки эксплуатации узлов. Задачей моделирования является разработка плана замены узлов таким образом, чтобы трудоемкость работ была оптимальной относительно мощности ремонтных служб в рассматриваемый период. Введены понятия функционалов готовности и технического использования для идентификации процессов технического обслуживания локомотивов. Однако авторы в модели не учитывают показатели надежности узлов и рассматривают только плановые виды ремонтов, что упрощает моделирование, но не в полной мере соответствует процессу эксплуатации локомотива.

Задача управления жизненным циклом локомотива при сервисной системе технического обслуживания и ремонта рассмотрена в (Pustovoy 2016) Предложено внедрить статистические методы в АСУ локомотивных депо. Рассмотрен пример управления неснижаемым запасом запчастей. Предложено внедрить систему вероятностно-статистических методов расчета неснижаемого запаса по данным об интенсивности потребления деталей и времени их доставки в депо. В результате ожидается сокращение затрат локомотивных депо за счет сокращения затрат на проведение регламентированных ремонтных операций, сокращения потерь от неплановых ремонтов, сокращения используемых оборотных средств. В данной работе авторы рассматривают только процессы поставки запасных частей без учета загрузки ремонтных подразделений и потока поступающих локомотивов.

Основной материал

Рассмотрим возможность использования подходов теории массового обслуживания с целью моделирования процессов постановки локомотивов в ремонт и его выполнения, анализа загрузки ремонтных позиций, расчета их потребного количества.

Теория массового обслуживания (теория очередей) – раздел теории вероятностей, целью исследований которого является рациональный выбор структуры системы обслуживания и процесса обслуживания на основе изучения потоков требований на обслуживание, поступающих в систему и выходящие из неё, длительности ожидания и длины очередей. В теории массового обслуживания используются методы теории вероятностей и математической статистики.

Система массового обслуживания – система, которая производит обслуживание поступающих в неё заявок. Обслуживание требований в системе производится обслуживающими каналами. Классическая система массового обслуживания содержит от одного до бесконечного числа каналов.

В зависимости от наличия возможности ожидания поступающими заявками начала обслуживания системы массового обслуживания подразделяются на:

- системы с потерями, в которых заявки, не нашедшие в момент поступления ни одного

свободного обработчика, теряются;

- системы с ожиданием, в которых имеется накопитель бесконечной ёмкости для буферизации поступивших требований, при этом ожидающие требования образуют очередь;
- системы с накопителем конечной ёмкости (ожиданием и ограничениями), в которых длина очереди не может превышать ёмкости накопителя; при этом требование, поступающее в переполненную систему (отсутствуют свободные места для ожидания), теряется.

Выбор заявки из очереди на обслуживание производится с помощью так называемой дисциплины обслуживания. Их примерами являются FIFO (пришедший первым обслуживается первым), LIFO (пришедший последним обслуживается первым), random (случайный выбор), SF (короткие вперед) первой обслуживается заявка с минимальным временем обслуживания. В системах с ожиданием накопитель в общем случае может иметь сложную структуру. Система может быть одноканальной и многоканальной.

Для моделирования процессов ремонта локомотивного парка в условиях локомотивного депо подходит система с ожиданием, в которой имеется накопитель бесконечной ёмкости для буферизации поступивших требований. При этом ожидающие локомотивы образуют очередь. В большинстве случаев при выборе локомотива для обслуживания используется система FIFO. С нашей точки зрения, интересным является проведение исследования влияния способа отбора заявок из очереди на показатели работы ремонтного подразделения.

В ремонтном подразделении (локомотивное депо, цех завода) средствами обслуживания (каналами) выступают ремонтные стойла. Поток требований представляет собой количество локомотивов (ремонтных комплектов), поступающих в систему обслуживания за определенное время: год, месяц, неделю, смену, час. Поток требований служит основой для планирования производственной программы ремонтных стойл. Поток требований может быть определен одним из способов:

- расчетно-аналитическими методами с использованием нормативов ТО и ремонта, а также показателей надежности;
 - на основании анализа фактических данных по потокам требований;
 - методами математического моделирования.
- Особенности потока требований:
- неравномерность поступления во времени;
 - неравномерность (случайность) продолжительности (трудоемкости) выполнения;
 - различное техническое состояние ремонтируемых локомотивов.

мых локомотивов.

В качестве примера системы массового обслуживания рассмотрим ремонтный цех локомотивного депо, в котором выполняются все виды ремонта кроме капитальных. Постановка задачи математического моделирования работы цеха с использованием методов теории массового обслуживания.

Введем следующие обозначения:

i – количество секций локомотивов (заявок) в системе обслуживания (в очереди и на обслуживании);

λ_i – интенсивность поступления в систему секций при условии, что в системе уже находятся i секций;

μ_i – интенсивность выходного потока обслуженных секций при условии, что в системе находятся i секций;

p_i – вероятность того, что в системе находится i секций;

ρ – сводная интенсивность загрузки стойла (или интенсивность загрузки канала).

Ремонтный цех с ремонтными стойлами рассматривается как многоканальная система массового обслуживания с ожиданием. Ее характеристики и признаки приведены на рис. 1.

Для анализа случайных процессов с дискретными состояниями удобно пользоваться геометрической схемой, так называемым графом состояний. Для дальнейшего расчета характеристик эффективности работы системы массового обслуживания необходимо определить возможные состояния системы, а также вероятности наступления этих состояний (p_i), которые называют предельными вероятностями системы.

Граф состояний цеха ремонта с ремонтными позициями n и местами в очереди m показан на рисунке 2. Он представляет собой схему гибели и размножения, для которой решение в общем виде уже получено.



Рис. 1. Цех ремонта как система массового обслуживания

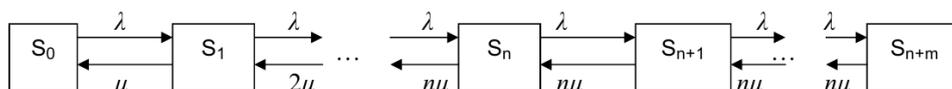


Рис. 2. Граф состояний цеха ремонта с n ремонтными позициями и ограниченной очередью

На рисунке: λ – интенсивность входящих заявок (секций локомотивов, которым требуется ремонт); μ – интенсивность обслуживания (ремонта).

Марковская непрерывная цепь называется «процессом гибели и размножения», если его граф состояний имеет вид, который показан на рисунке 2, то есть все состояния можно вытянуть в одну цепь, в которой каждое состояние связано прямым и обратным связи с каждым из соседних состояний, а крайние состояния S_0 и S_n – только с соседними состояниями.

Цех ремонта локомотивов может принимать одно из состояний:

S_0 – все позиции свободны;

S_1 – одна позиция занята, остальные $n-1$ позиции свободны;

S_2 – две позиции заняты, остальные $n-2$ позиции свободны;

S_n – все позиции заняты, очереди нет;

S_{n+1} – все позиции заняты, в очереди находится один локомотив (секция);

S_{n+m} – все позиции заняты, в очереди m локомотивов (секций).

Следует обратить внимание на то, что в данной системе интенсивность потока обслуживания с увеличением количества заявок от 0 до n увеличится от μ до $n\mu$ соответственно. Соответственно увеличивается количество каналов обслуживания. При количестве требований, превышающих n , интенсивность обслуживания остается равной $n\mu$.

При моделировании должны быть решены следующие задачи: моделирование работы ремонтного цеха на протяжении заданного количества часов; определение вероятностей состояний $S_0 \dots S_{n+m}$ ремонтного цеха; определение среднего числа заявок (локомотивов) в очереди на обслуживание; определение среднего числа заявок на обслуживание; определение среднего числа заявок в системе; определение средней продолжительности пребывания заявки в очереди; определение средней продолжительности пребывания заявки в системе; определение относительной пропускной способности системы; определение абсолютной пропускной способности системы.

Исходными данными для моделирования работы ремонтного цеха являются: количество ремонтных позиций; время моделирования; интенсивность входящего потока заявок (с учетом плановых и unplanned ремонтов); длительность обслуживания на каждой ремонтной позиции для каждого вида ремонта.

В результате моделирования определяются следующие показатели системы массового обслуживания (цеха ремонта локомотивов): вероятности состояний системы $S_0 \dots S_{n+m}$; среднее число заявок (локомотивов) в очереди на обслуживание; среднее число заявок в системе; средняя продолжительность пребывания заявки в очереди; средняя продолжительность пребывания заявки в системе.

Результаты моделирования работы ремонтного цеха за заданное время: количество заявок, поступив-

ших на обслуживание, количество часов, потраченных на обслуживание.

На первоначальном этапе исследований произведено моделирование работы цеха выполнения технического обслуживания маневровых тепловозов в объеме ТО-3 (вид технического обслуживания наиболее часто выполняемый в условиях ремонтного цеха и имеющий наименьший объем ремонтных операций).

Структурная схема модели цеха ТО-3 локомотивного депо представлена на рис. 3.

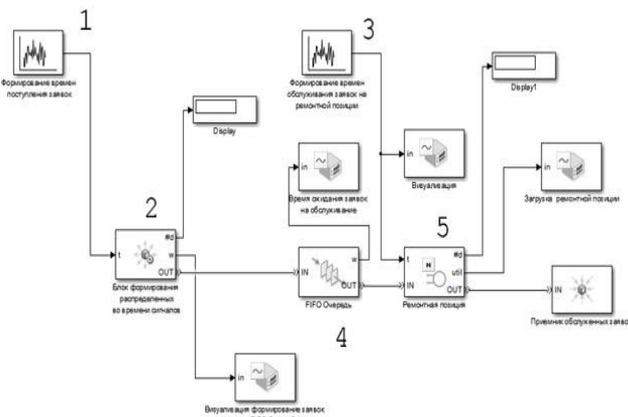


Рис. 3. Модель цеха ТО-3 тепловозов в виде СМО: 1 – формирователь времени поступления тепловозов в ремонт; 2 – блок формирования распределения заявок во времени; 3 – формирователь времени обслуживания тепловозов на ремонтной позиции; 4 – очередь тепловозов в ожидании ремонта; 5 – ремонтная позиция ТО-3 тепловозов

В качестве программных средств моделирования использована графическая среда имитационного моделирования Simulink.

Блоки 1 и 2 случайным образом формируют распределенные во времени заявки на ремонт тепловозов. В соответствии с нормативными документами маневровому тепловозу ремонт в объеме ТО-3 выполняется через каждые 45 суток, при этом допускается отклонение времени поступления в ремонт $\pm 20\%$ от нормы. В качестве ремонтного стойла депо в модели используется блок «ремонтная позиция» (5).

Время необходимое для выполнения ТО-3 задается блоком 3. В модели принято время выполнения ТО-3 12 часов $\pm 20\%$. В качестве дисциплины обслуживания заявок принята дисциплина FIFO.

Выполнено моделирование цеха ТО-3 для приписного парка тепловозов 20, 50, 75, 150 секций. Для приписного парка 150 секций моделирование выполнено с одним и ремонтными двумя стойлами. Время моделирования принято 365 суток. Результаты моделирования приведены в таблице 1.

Представленная модель в упрощенном виде описывает процесс выполнения ремонта парка маневровых тепловозов и может быть дополнена в зависимости от вида ремонтов выполняемых в депо.

Так же требует дальнейшей разработки вопрос учета показателей надежности при моделировании поступления локомотивов на unplanned виды ремонта.

Таблица 1. Результаты моделирования

Приписной парк	Количество ремонтных стоек	Количество заявок на ремонт, лок за год	Среднее количество локомотивов ремонтруемых в сутки	Средняя загрузка ремонтной позиции	Время ожидания локомотива до постановки в ремонт, час
20	1	163	0,45	0,23	0
50	1	406	1,11	0,56	0
75	1	609	1,67	0,85	0
150	1	1218	3,34	1	6
150	2	1218	3,34	0,82	0

Выводы

В работе представлено описание цеха по ремонту локомотивов с помощью терминов и понятий системы массового обслуживания. Дано описание структуры

системы массового обслуживания – цеха по ремонту локомотивов. Сформулированы задачи, решаемые при моделировании работы ремонтного цеха, приведен перечень исходных данных и ожидаемых результатов моделирования. На основании анализа результатов моделирования можно осуществлять оптимизацию структуры ремонтного цеха и необходимого количества персонала исходя из объема перевозок, показателей надежности оборудования, используемого правила отбора локомотивов из очереди, количества работающих ремонтных стоек. Все перечисленные параметры влияют на основные показатели работы локомотивного депо. Наличие разработанной модели ремонтного цеха депо позволит рационально планировать использование оборудования ремонтного цеха, фонда рабочей силы, времени постановки локомотивов в ремонт с учетом равномерности загрузки цеха, а также даст возможность усовершенствовать логистику поставок запасных частей.

Литература

Bodnar, B. 2017. System Choice of the Technical Maintenance of Locomotives Equipped with on-Board Diagnostic Systems / B. Bodnar, O. Ochkasov // *Transport Means : Proceedings of 21st International Scientific Conference*, September 20–22, 2017 / Kaunas University of Technology Klaipėda University [and others]. — Juodkrante, Kaunas, Lithuania, — 2017. — Part I. — P. 43—47. A fragment of the text.

Berestovoy, A.M. 2003. *Modeling the system of maintenance and repair of locomotives* / AM. Berestovoy, AA Lyamzin // News of Priazov state power university: zb. sciences. prat / PTP. - Mariupol. Vip. 13. - P. 276-280. (In Russian).

Ochkasov, O.B.; Grishechkina, T.S.; Ocheretnyuk, M.V. 2017. Approaches to the modeling of the maintenance system of locomotives // Actual problems of automation and management. *Materiali conferențe: tezi доповідей V міжнародної науково-практичної інтернет конференції young students and aspirants* (Луцьк, 28-30 березня 2017 р.) / LNTU, NU "Lviv Polytechnic", KNUHT, NMU, KhNTU, Lubinskaya Polytechnic.- Luts'k: LNTU, Vypusk №5, point 99-104. (In Russian).

Gurieva, A.G.; Chernetska-Beletskaya, N.B. 2015. *Bases of modeling of technological service processes of locomotives* // Visnyk OF THE Volodymyr Dahl East-Ukrainian Universities University (1) (218), P. 262-265. (In Russian).

Pustovoy, I. V. 2016. Statistic methods encapsulation in locomotive service repair depot information net. *Journal of Transsib Railway Studies*, vol. 27, no. 3, pp. 132 – 144. (In Russian).