

УДК: 629.42.083-047.58

Очкасов А.Б., Гришечкина Т.С., Очеретнюк М.В.

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В.Лазаряна

E-mail: [abochkasov@gmail.com](mailto:abochkasov@gmail.com)

### ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ

**Очкасов О.Б., Гришечкина Т.С., Очеретнюк М.В.** Підходи до моделювання системи технічного обслуговування локомотивів. У статті обґрунтовано необхідність проведення досліджень в області моделювання системи технічного утримання локомотивів. Показано зв'язок експлуатаційних параметрів локомотивного парку і завантаження ремонтних підрозділів. Виконано аналіз досліджень що присвячені моделюванню системи експлуатації локомотивного парку. Розглянуто основні положення теорії масового обслуговування стосовно до системи технічного утримання локомотивного парку.

*Ключові слова:* Система утримання, локомотивний парк, планування постановки на ремонт, система масового обслуговування

**Очкасов А.Б., Гришечкина Т.С., Очеретнюк М.В.** Подходы к моделированию системы технического обслуживания локомотивов. В статье обосновано необходимость проведения исследований в области моделирования системы технического содержания локомотивов. 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.

*Ключевые слова:* Система содержания, локомотивный парк, планирование постановки на ремонт, система массового обслуживания

**Ochkasov O. Hryshechkina T. , Ocheretnyuk M.** Approaches to the system simulation of maintenance operations for locomotives. The article substantiates the necessity of carrying out researches in the field of the system simulation of maintenance operations for locomotives. The operational parameters connectivity of the locomotive service and loading of the repair units are shown. Researches devoted to system simulation of the locomotive service operation are considered. Primary provisions of queuing theory are considered with regard to the maintenance system of the locomotive service.

*Keywords:* maintenance system, locomotive service, repair planning, queuing system

**Постановка проблеми.** Задача сокращения эксплуатационных расходов является актуальной для любой транспортной компании эксплуатирующей подвижной состав. Значительная часть эксплуатационных расходов транспортных компаний приходится на обеспечение исправного технического состояния транспортных средств. В локомотивном хозяйстве большая часть эксплуатационных расходов приходится на долю затрат связанных с затратами на оплату энергоресурсов, а так же на техническое обслуживание и ремонт локомотивов. Одним из методов сокращения эксплуатационных расходов транспортных компаний является усовершенствование

системы технического содержания локомотивного парка. На сегодняшний день ремонт и техническое обслуживание локомотивов украинских железных дорог, как и большинства стран бывшего СССР, выполняется согласно фиксированному графику, когда необходимость и вид очередного ремонта, как правило, определяются пробегом локомотива. Такой подход не учитывает фактическое состояние узлов локомотивов и реальную необходимость в ремонте данного вида, что приводит к значительным дополнительным затратам. Кроме того, отсутствие информации об объеме и перечне ремонтных работ для конкретных локомотивов затрудняет планирование ремонта в депо и существенно увеличивает время его выполнения [1].

Существует множество факторов, влияющих на систему технического обслуживания локомотивов, одним из которых является оперативное планирование постановки локомотивов на техническое обслуживание и плановый ремонт. Основной проблемой оперативного планирования является нестабильность перевозок, что в свою очередь ведет к неравномерной загрузке ремонтных стоил локомотивного депо.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Несмотря на множество решений в области создания и построения информационных систем управления, проблема построения цельной, охватывающей все уровни локомотивного хозяйства, информационной системы далека от завершения. В условиях постоянного повышения требований к функционированию инфраструктуры железнодорожного транспорта требуется решать задачи планирования ремонта подвижного состава в тесной связи с эксплуатацией. В [2] была разработана модель информационной системы, которая способна осуществлять планирование оперативной постановки локомотивов на ремонт, с учетом их технического состояния, удлинённых плеч, оснащённости и ресурсообеспеченности. В [3] выполнен анализ систем технической эксплуатации тягового подвижного состава на железных дорогах Украины и мира. Который показал, что основной моделью системы технического обслуживания и ремонта на железных дорогах мира является плано-предупредительная система технического обслуживания и ремонта с различными подходами в организации баз ремонта и корректировки объемов работ при проведении технического обслуживания и плановых ремонтов. В [9] предложен новый подход к оценке качества выполнения системы содержания тягового подвижного состава. Для количественной оценки качественных изменений в системе технического обслуживания и ремонта электроподвижного состава дороги предлагается использовать новый интегральный показатель - индекс выполнения системы содержания.

**Цель статьи.** Выполнить анализ подходов к моделированию системы технического обслуживания локомотивов с использованием методов теории массового обслуживания.

**Основной материал.** Общей целью планирования постановки локомотивов на ремонт является обеспечение своевременной перевозки грузов и пассажиров по условию выполнения технологических ограничений и минимизации затрат. Организация постановки локомотивов на ремонт обеспечивается оперативно-диспетчерским персоналом и включает этапы оперативного планирования и регулирования. Она выполняется по отношению к участку работы локомотивов, который определяется по депо их приписки и ограничивается пунктами оборота. Такое планирование должно учитывать требования соответствующих отраслевых инструкций касательно ремонта подвижного состава [4].

Планирование на основе контроля межремонтных периодов предусматривает определение потребности в ремонте или ТО на основе сопоставления с нормативными значениями межремонтных пробегов локомотивов (прежде всего, при их работе в поездах), или времени работы (например, при их использовании для маневровой или вывозной работы). Типичные нормативы межремонтных пробегов по сериям локомотивов могут задаваться индивидуально для различных железных дорог.

Потребность в ремонте или ТО для данного локомотива фиксируется в случае, если межремонтный пробег или время работы стал больше нормативного для соответствующего типа ремонта. При этом, согласно положению [5], равномерности загрузки ремонтных цехов депо и локомотиворемонтных заводов предусматривается возможность регулирования межремонтных периодов (как правило, в пределах  $-10\% + 25\%$ ). То есть, фиксация потребности в ремонте или ТО происходит для определенного интервала значений межремонтного пробега или времени работы локомотива.

Собственно, текущие значения межремонтных пробегов или времени работы локомотивов определяются на основе учета их работы (в частности, путем обработки маршрутных листов машинистов). При этом, поскольку определение потребности в ремонте или ТО должно выполняться

на будущее, используется прогнозирование изменения этих параметров. Это прогнозирование осуществляется, как правило, исходя из их средних значений.

Центральной задачей планирования постановки локомотивов на ремонт является уменьшение простоя локомотивов в ремонте и уменьшение простоя в ожидании ремонта, что в итоге существенно влияет на коэффициент готовности локомотива.

Планирование постановки локомотивов на ремонт может быть двух видов: планирование по календарному времени и планирование по пробегу. При **планировании ремонта по календарному времени** для установления планового дня постановки локомотива на ремонт исходят из среднесуточного пробега за истекший период или планового задания. Недостатком этого метода планирования является то, что фактический суточный пробег локомотивов из-за их различного технического состояния, различных простоев в текущем ремонте, разной степени использования на работе и прочего весьма различен и значительно отличается от планируемого. Более целесообразным является **планирование по пробегу**, так как в этом случае локомотивы ставятся на ремонт соответственно установленной периодичности. Недостатком этого метода планирования является возможная неравномерность выполнения суточного плана по обслуживанию. График обслуживания отдельного локомотива составляют на основании установленной периодичности технического обслуживания, ремонтного цикла и суточного пробега локомотива.

Для оперативного планирования постановки локомотивов на ремонт нужно определить вероятности пребывания локомотивов в различных состояниях (эксплуатация, ремонт, простой в ожидании ремонта и пр.). При решении этой задачи целесообразно использовать инструментарий теории массового обслуживания. В течение всего времени локомотив может находиться в разных состояниях, входящих в общий массив  $S$ . Количество состояний и их взаимосвязь зависит от принятой системы и стратегии технической эксплуатации. Массив  $S$  можно представить в виде граф-модели. Для существующей в Украине плано-предупредительной системы технического обслуживания локомотивов на магистральном железнодорожном транспорте [3] схема состояний и переходов показана на рисунке 1.

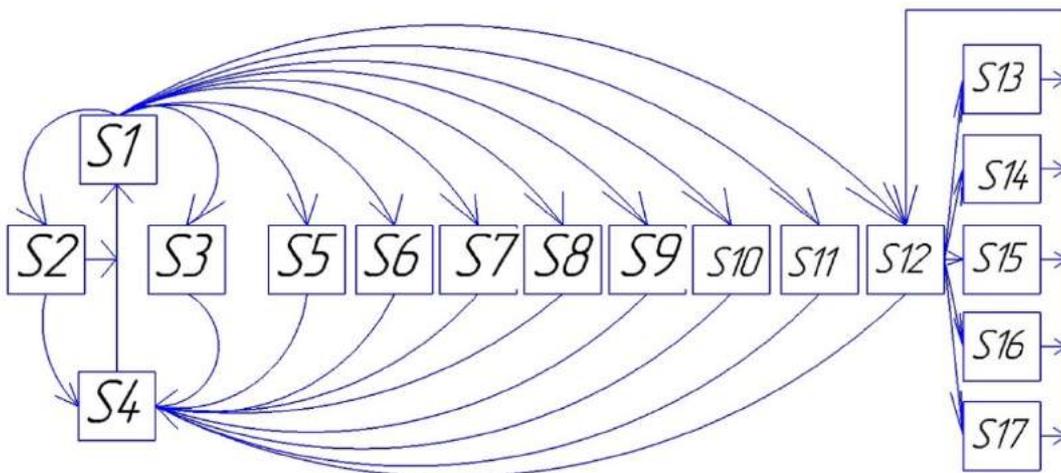


Рис. 1. График состояний локомотива во время эксплуатации и ремонта

На данной схеме приняты следующие обозначения: S1 – ожидание эксплуатации; S2 – эксплуатация; S3 – ТО-2; S4 – экипировка; S5 – ТО-3; S6 – ТО-4; S7 – ТО-6; S8 – неплановый ремонт; S9 – TP-1; S10 – TP-2; S11 – TP-3; S12 – ТО-5; S13 – KP-1; S14 – KP-2; S15 – консервация; S16 – КП; S17 – модернизация.

Состояния S1 – S4 относятся к системе эксплуатации (локомотив находится в исправном состоянии и относится к парку, находящемуся в эксплуатации). Остальные состояния относятся к системе технического обслуживания и ремонта. Первое состояние S1 (ожидание работы) включает в себя время, в течение которого локомотив готов к работе, но не используется. В него входит время на смену локомотивных бригад, время на проведение ТО-1 и время приемки-сдачи локомотива локомотивной бригадой. Эксплуатация (состояние S2) – это непосредственное выполнение локомотивом работы.

Состояния S3, S5, S6 S7, S9 предназначены для предупреждения появления неисправностей тягового подвижного состава в эксплуатации, поддержания его в работоспособном состоянии, обеспечения безопасной эксплуатации, пожарной безопасности и безаварийной работы. Нахождение локомотива в состоянии S7 необходимо для выполнения регламентных работ по продлению срока службы несущих конструкций. Тепловоз попадает в это состояние по окончании нормативного срока службы. Отдельно выделяется состояние S4. Находясь в этом состоянии, локомотив пополняет запасы экипировочными материалами, необходимыми для выполнения работы. Периодичность попадания и срок нахождения в этом состоянии тепловоза обусловлены условиями эксплуатации.

Состояния S10 и S11 необходимы для обеспечения исправности подвижного состава, обновления основных его эксплуатационных характеристик и обеспечения их стабильности в межремонтный период с выполнением ревизии, ремонта, замены групп деталей, узлов и агрегатов, регулированием и испытанием, а также частичной модернизацией.

Капитальные ремонты (состояние S13 и S14) предусматривают восстановление паспортных характеристик, частичного (S13) и полного (S14) восстановления ресурса заменой и ремонтом изношенных неисправных агрегатов ТПС, узлов, деталей и их модернизацией.

Проведение капитального ремонта с продлением ресурса (состояние S16), необходимо для восстановления эксплуатационных характеристик, исправности и полного ресурса на период срока службы сверх установленного после построения. Также оно используется для модернизации всех агрегатов, узлов и деталей, включая базовые, для полной замены кабельно-проводниковой продукции и оборудования с выработанным моторесурсом в соответствии с техническими условиями.

Аналогичным является состояние S17, при котором происходит замена большей части силового оборудования на новое. Чаще всего в условиях железных дорог Украины состояния S16 и S17 объединяют.

Состояние S12 обеспечивает консервацию или расконсервацию подвижного состава для постановки в запас или пересылке в недействующем состоянии для проведения ремонтов на сторонних предприятиях и при передаче на баланс в другое локомотивное депо. Консервация S15 – нахождение локомотива в недействующем состоянии на базе запаса. Для локомотива пребывания в этом состоянии чаще всего обусловлено изменением потребности в перевозках. Например, при сезонных изменениях объемов поездной работы.

Таким образом, локомотив, находясь в состоянии S2, выполняет полезную работу. Пребывание в состояниях S1, S3 – S7 и S9 – S17 вызвано необходимостью обеспечения возможности пребывания в состоянии S2. Состояние S8 (пребывание локомотива на неплановом ремонте) является паразитным, находясь в котором тепловоз не может выполнять работу. В работе [3] моделирование изменения вероятности нахождения локомотива в том или ином состоянии рассмотрено в несколько различных стратегиях технического обслуживания и ремонта.

Рассмотрим детальнее возможность использования подходов теории массового обслуживания с целью моделирования процессов постановки на ремонт и его выполнения, анализа загрузки ремонтных стоил 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). 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. Также в этом случае, с нашей точки зрения, уместнее всего использовать выбор требования из очереди по системе FIFO.

В данной системе средствами обслуживания (каналами) выступают ремонтные стойла, поток требований представляет собой количество локомотивов, поступающих в систему обслуживания за определенное время: год, месяц, неделю, смену, час, минуту. Поток требований служит основой для планирования производственной программы ремонтных стойл. Поток требований может быть определен одним из способов:

- расчетно-аналитическим методом с использованием нормативов ТО и ремонта, данных по надежности;

- на основании анализа фактических данных по потокам требований;
- методом моделирования.

Особенности потока требований:

- неравномерность поступления во времени;
- неравномерность (случайность) продолжительности (трудоемкости) выполнения.

Из-за случайности входящего потока требований и продолжительности их выполнения всегда имеется какое-то среднее число простаивающих локомотивов. Поэтому требуется так распределить число ремонтных стойл по различным подсистемам, чтобы простой и, следовательно, потери были минимальны. Этот класс задач имеет дело с дискретным изменением параметров, так как число ремонтных стойл может изменяться только дискретным образом. Поэтому при анализе системы обеспечения работоспособности локомотивов необходимо использовать методы исследования операций, теории массового обслуживания, линейного, нелинейного и динамического программирования и имитационного моделирования.

**Выводы.** Методы теории массового обслуживания позволяют провести моделирование загруженности ремонтных стойл локомотивного депо. Для этого требуются статистические массивы исходных данных, таких как пробеги локомотивов, их технические состояния, а также другие факторы, характеризующие текущую систему содержания.

Результаты данного моделирования могут быть использованы при усовершенствовании системы планирования и постановки локомотивов в ремонт. Ожидаемый эффект будет получен за счет сокращения простоя локомотивов в ожидании ремонта и повышения их коэффициент готовности, что приведет к увеличению времени работы локомотивов в эксплуатации а следовательно увеличению прибыли железной дороги. Кроме того, данные моделирования могут быть использованы при планировании поставок запасных частей в соответствии с потребностями локомотивного парка.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ:

1. Bodnar, B. 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.
2. Попов М.А Совершенствование системы планирования ремонта локомотивов: дис. канд. тех. наук. Дальневосточный государственный университет путей и сообщения, Хабаровск, 2007.
3. Сумцов А.Л. Удосконалення методів та моделей визначення системи технічної експлуатації модернізованих маневрових тепловозів: дис. канд. тех. наук. УкрДУЗТ, Харків, 2017.
4. Зіненко О.Л. Підвищення ефективності використання локомотивного парку шляхом вдосконалення управління експлуатаційною роботою: дис. канд. тех. наук. ДНУЗТ, Дніпропетровськ, 2010.

5. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро та дизель-поїздів), затверджене наказом Укрзалізниці № 093-ЦЗ від 30.06.2010.

6. Моргунов А. И. Задача о назначениях и планирование работы железнодорожного транспорта // Вестник ВНИИЖТ. 2004. № 6.

7. Б.Е. Боднар, Очкасов О.Б., Е.Б Боднар Использование диагностической информации при разработке системы управления техническим состоянием локомотивов Локомотив-информ №3-4 Харьков, 2011 с.10-13

8. Кедрус В.А. Использование теории массового обслуживания в экспертной системе управления работой локомотивов и локомотивных бригад. / Кедрус В.А., Новожилова Т.Н. // Тез.докл. 7-й международной школы-семинара “Микропроцессорные системы связи и управления на железнодорожном транспорте”. – Киев: , 1994.

9. Лоза П.А. Оценка качества выполнения системы содержания парка электроподвижного состава / П.А. Лоза, Т.С. Гришечкина // Электрификация транспорта №9 / 2015, с.87-93.