

ОБОБЩЕНИЕ ИСХОДНЫХ ПРЕДПОСЫЛОК ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ДИНАМИКИ УБЫЛИ (ВОСПОЛНЕНИЯ) ТЕХНИКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВОЙСК

Егоров Д.С.

*Научно-исследовательский испытательный центр Железнодорожных войск
Министерства обороны Российской Федерации, Москва.*

Ключевые слова: дорожная техника, строительная техника, оценка критериального состояния, прогнозирование технического состояния, динамика убыли (восполнения), Марковские процессы, математическая модель, методический аппарат.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы организации и проведения оценки и прогнозирования технического состояния дорожной и строительной техники. Обобщены исходные предпосылки и разработаны предложения по использованию аппарата для математического моделирования Марковских процессов применительно к парку техники. Рассмотрен пример возможного графа состояний для реализации проведения оценки и прогнозирования технического состояния техники в рамках предложенного математического аппарата.

GENERALIZATION OF THE INITIAL PREREQUISITES FOR ORGANIZING AND CONDUCTING ASSESSMENT AND FORECASTING OF THE TECHNICAL CONDITION AND DYNAMICS OF THE LOSS (REPLENISHMENT) OF EQUIPMENT OF THE RAILWAY TROOPS

Egorov D.S.

*Research and Testing Center of the Railway Troop» of the Ministry of Defense of the
Russian Federation, Moscow*

Keywords: road equipment, construction equipment, assessment of criterial condition, forecasting of technical condition, dynamics of loss (replenishment), Markov processes, mathematical model, methodological apparatus.

Abstract. This article examines the organization and implementation of technical condition assessment and forecasting for road and construction equipment. The initial assumptions are summarized and proposals for the use of a framework for mathematical modeling of Markov processes applied to a fleet of equipment are developed. An example of a possible state graph for implementing technical condition assessment and forecasting within the proposed mathematical framework is considered.

Железнодорожные войска (ЖДВ) – специальные войска в составе материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации (ВС РФ), входящие в систему обеспечения обороноспособности и национальной безопасности Российской Федерации. ЖДВ предназначены для технического прикрытия, восстановления, заграждения, разминирования, строительства железных дорог, наведения и эксплуатации наплавных железнодорожных мостов в интересах ВС РФ для достижения целей их деятельности.

В процессе применения образцов техники по штатному предназначению и их эксплуатации в мирное время (при прохождении соответствующих стадий жизненного цикла) в результате воздействия внешних факторов (климатических,

механических, химических, биологических, электрических и других) изменяется их техническое состояние и расходуется назначенный ресурс (измеряемый в километрах пробега, моточасах, циклах, годах) [1].

В свою очередь, в процессе эксплуатации образцов техники и изменения их технического состояния (в том числе, сокращения запаса назначенного ресурса и истечения срока службы) возникает необходимость в проведении соответствующих мероприятий технического обслуживания и ремонта (далее – ТОиР), как планово-предупредительного характера, так и внепланового (по фактическому техническому состоянию). Дополнительно в соответствии с требованиями нормативных и руководящих документов возникает необходимость в проведении мероприятий по постановке на хранение, содержанию на хранении и снятию с хранения образцов техники.

Важным аспектом организации и планирования деятельности ЖДВ при решении поставленных задач (при комплексном решении задач на заданных отрезках времени с использованием методов программно-целевого планирования [2]), в том числе, является определение показателей и параметров обеспеченности образцами техники и готовности их к применению по штатному предназначению на заданном отрезке времени. Дополнительно при организации и планировании деятельности необходимо учитывать и сопутствующие затраты ресурсов (в том числе времени, рабочей силы и бюджетных ассигнований) на проведение мероприятий по приведению образцов техники в исправное техническое состояние, по своевременному обновлению парка техники, а также по постановке, содержанию и снятию образцов техники с хранения – в рамках достижения требуемых показателей обеспеченности техники и готовности их к применению на заданном отрезке времени.

При этом, однако, помимо соответствующих мероприятий планово-предупредительного характера, которые можно спланировать с известными заранее временными и вероятностными показателями (функциями), определению и учету подлежат мероприятия (события) внепланового характера, для которых временные и вероятностные показатели изначально неизвестны и которые спланировать заранее без использования математических методов (в том числе методов прогнозирования) – не представляется возможным. С математической точки зрения в данном случае имеют место задачи исследования операций в условиях стохастической («доброкачественной») неопределенности, когда неопределенные факторы, входящие в задачу, представляют собой случайные величины (или случайные функции), вероятностные характеристики которых либо известны, либо могут быть получены (определены) из опыта [3].

В целом образцы техники на соответствующих стадиях жизненного цикла по критериальным признакам их технического состояния и готовности к применению могут быть разделены на следующие основные (базовые) условные категории: образец техники технически исправен или не исправен; образец техники эксплуатируется при решении задач или поставлен на длительное или кратковременное хранение; образец техники проходит различные виды обслуживания (в том числе, технического обслуживания) или находится в ремонте (различных видах ремонта); образец техники списан (проходит процедуру списания) и должен быть утилизирован. При этом оценка и прогнозирование

возможных состояний по критериальным признакам, в которых могут находиться образцы техники, должны проводиться по сочетанию вышеперечисленных основных (базовых) условных категорий.

Решение задачи оценки и прогнозирования технического состояния образцов техники ЖДВ по критериальным признакам на заданном отрезке времени может быть осуществлено в рамках математического моделирования системы элементов парка техники и происходящих в нем случайных «Марковских» процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем. В целях упрощения математической модели можно принять, что все возможные состояния образцов техники, в которых они могут находиться, заранее известны и могут быть определены конечным числом сочетаний основных (базовых) категорий, а переходы образцов техники между этими состояниями происходят единомоментно («скачкообразно»). При этом, разумеется, моменты возможных переходов из одного состояния в другое не фиксированы заранее (являются неопределенными, случайными), а сами переходы могут осуществляться, в принципе, в любой момент времени [3, 4].

Эффективным и зарекомендовавшим себя, при анализе случайных процессов с дискретными состояниями, является использование упрощенной геометрической схемы рассматриваемой системы, которая называется графом состояний. Если процесс, протекающий в системе с дискретными состояниями и непрерывным временем, является Марковским, то для его описания можно построить математическую модель, в основе которой лежат такие понятия, как «Граф состояний», «Поток событий», «Интенсивность потока событий», «Стационарный поток событий» [4].

После определения начальных упрощений, ограничений и допущений выбранной математической модели – может быть построен размеченный направленный граф состояний, определены возможные сочетания переходов (событий) элементов графа из состояния в состояние и рассчитаны интенсивности этих переходов (событий). Далее, для рассматриваемой системы в рамках используемой математической модели составляется соответствующая система обыкновенных линейных дифференциальных уравнений (уравнений Колмогорова), в которых неизвестными функциями являются вероятности состояний, зависящие от времени.

С целью решения вопросов оценки и прогнозирования технического состояния и динамики убыли образцов техники предлагается разработка методического аппарата оценки и прогнозирования обеспеченности образцами техники и их технического состояния, который позволял бы определять и учитывать мероприятия (события) внепланового характера, для которых временные и вероятностные показатели изначально неизвестны. Такой методический аппарат может быть построен на вероятностно-статистических методах математического моделирования применительно к техническому состоянию и готовности к применению образца техники по критериальным признакам с использованием аппарата случайных «Марковских» процессов изменения состояний системы с дискретными переходами и непрерывным временем. В рамках решения указанного вопроса можно предложить разработку первоначальной нелинейной математической модели, в которой один образец техники будет рассматриваться как

некоторая система S с дискретными состояниями $S_0, S_1, \dots, S_N$, которая переходит из состояния в состояние под влиянием случайных событий (отказов) и/или внешних процессов. При этом в дискретных состояниях, в которых может пребывать система, будут учитываться все состояния (мероприятия), при которых образец техники по критериальным признакам будет не в полной мере готов к использованию по штатному предназначению.

Пример возможного размеченного графа состояний для предлагаемой системы S (в качестве примера для случая восьми возможных состояний системы) с соответствующими интенсивностями (плотностями вероятностей) прямых и обратных переходов между состояниями ($\lambda_{01}, \dots, \lambda_{08}; \mu_{10}, \dots, \mu_{70}$) представлен на рисунке 1.

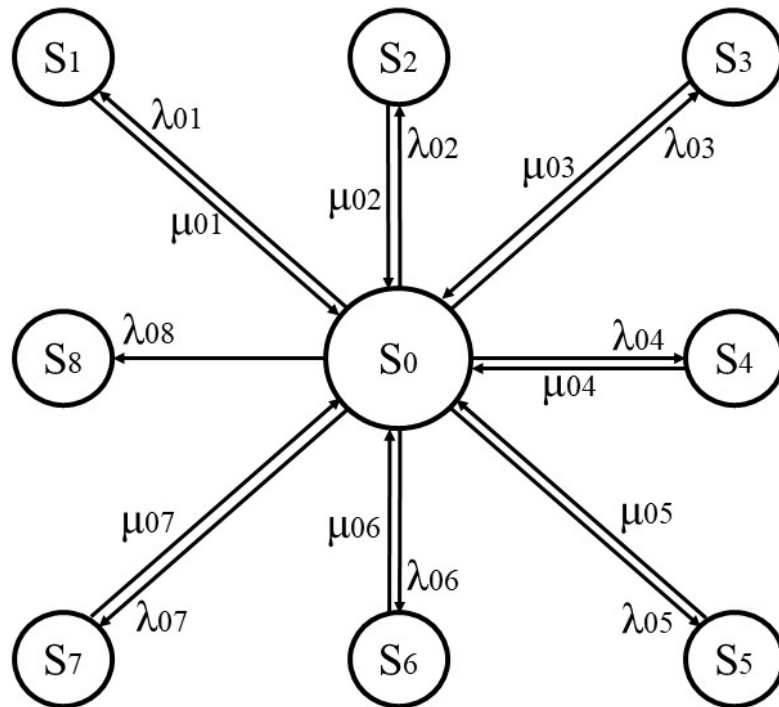


Рис. 1. Пример возможного размеченного графа состояний для предлагаемой системы S

Если все потоки событий, переводящие систему из одного дискретного состояния в другое Пуассоновские (стационарные или нестационарные), то процессы, протекающие в системе S , будут Марковскими, а плотности вероятностей перехода в непрерывной цепи Маркова будут представлять собой интенсивности потоков событий, переводящих систему из состояния S_i в S_j . Тогда вероятностно-статистический прогноз конкретного дискретного состояния системы в заданном промежутке времени может быть реализован путем составления соответствующей система линейных дифференциальных уравнений (уравнений Колмогорова) и последующим решением этой системы дифференциальных уравнений с использованием методов численного интегрирования, например, методом Рунге-Кутты.

Резюмируя вышесказанное необходимо отметить, что для качественного и эффективного обеспечения обороноспособности и национальной безопасности Российской Федерации, в части выполнения ЖДВ задач по штатному предназначению, особую важность, при организации и планировании деятельности, имеет ответственный подход к точности расчетов требуемого количества образцов техники, к оптимизации процессов эксплуатации образцов

техники на разных стадиях их жизненного цикла, к достоверности и точности сведений о степени готовности к применению по назначению – с целью повышения эффективности принимаемых решений и поддержания показателей обеспеченности и готовности к применению войск.

В свою очередь, при комплексном решении поставленных задач на заданных отрезках времени (с использованием методов программно-целевого планирования), потребным и целесообразным является использование качественного методического аппарата оценки и прогнозирования обеспеченности образцами техники и их технического состояния. Указанный методический аппарат должен обеспечивать возможность прогнозирования (определения и учета) не только мероприятий планово-предупредительного характера, но и мероприятий (событий) внепланового характера (для которых временные и вероятностные показатели изначально неизвестны).

Для решения этой задачи необходимо разработать методический аппарат, который будет использовать математическое моделирование парка образцов техники и происходящих в нем случайных «Марковских» процессов изменения их состояний (технического состояния и готовности к применению по критериальным признакам) с дискретными состояниями и непрерывным временем. Требуется разработка методического аппарата оценки и прогнозирования технического состояния и динамики убыли (восполнения) образцов техники. При этом прогнозирование и оценка на заданном отрезке времени будут осуществляться путем решения системы обыкновенных линейных дифференциальных уравнений (уравнений Колмогорова), составленной для размеченного направленного графа состояний образцов техники (с заранее определенными возможными сочетаниями переходов элементов графа из состояния в состояние и заранее рассчитанными интенсивностями этих переходов), а также с использованием методов математической статистики.

Список литературы

1. Золкин А.Л., Просвиров Ю.Е. Исследование процессов износа коллекторов тяговых электродвигателей // Наука, инновации и образование: актуальные проблемы развития транспортного комплекса России: материалы международной научно-технической конференции. – Екатеринбург: УрГУПС, 2006. – С. 153-154.
2. Кудрявцев А.А. Эффективность реализации программно-целевого планирования и финансирования расходов бюджетов на примере ведомственных целевых программ // Сборник трудов всероссийской конференции «Современные проблемы финансов, учета, анализа и аудита: теория и практика» (20-21 июня 2009 г.). – Ижевск: ГОУ ВПО «УдГУ», 2009. – С. 310-318.
3. Воробьев В.А., Андреев С.А. Использование размеченных графов при оценке показателей надежности электроприводов сельскохозяйственных машин // Электрификация и автоматизация сельского хозяйства (агроинженерия). – М.: МСХА им. К.А. Тимирязева, 2018. – С. 59-63.
4. Ле Тхань Бинь, Прус Ю.В., Сатин А.П. Моделирование динамики готовности автопарка пожарного подразделения // Материалы XXI международной конференции «Системы безопасности». – М.: АГПС МЧС России, 2012. – С. 152-155.

Сведения об авторе:

Егоров Дмитрий Сергеевич – младший научный сотрудник.