

# СОКРАЩЕНИЕ РЕСУРСОЗАТРАТ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ

**ШВАЛОВ Дмитрий Викторович**, канд. техн. наук, доцент; e-mail: d\_shvalov@mail.ru

Ростовский государственный университет путей сообщения, кафедра «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте», Ростов-на-Дону

В статье рассмотрен ряд вопросов и проблем в области оптимального планирования работ по техническому обслуживанию устройств железнодорожной автоматики и телемеханики в процессе реализации планово-предупредительного технического обслуживания, включая анализ современного уровня и возможностей увеличения количества задач, решаемых при автоматизации планирования. Технологии обслуживания устройств инфраструктуры, предусматривающие сведение к минимуму, а в идеале – исключение влияния так называемого человеческого фактора на качество выполнения работ, считаются в настоящее время наиболее перспективными. Одним из путей сокращения непроизводительных ресурсозатрат является разработка новых подходов к планированию технического обслуживания, причем как к планированию на длительный период (распределение отдельных видов работ по датам), так и к оперативному планированию (составление порядка выполнения отдельных работ в течение одной смены). Актуальной является задача автоматизации планирования работ в рамках планово-предупредительного обслуживания устройств железнодорожной автоматики и телемеханики на основе фиксации технологических ситуаций, эквивалентных имитации функционирования устройств в различных режимах. Для реализации поставленной задачи предлагается разработать соответствующие цифровые модели, обеспечивающие идентификацию технологических ситуаций и определение множества работ, которые будут считаться выполненными, а также множества работ, которые требуется выполнить в установленные сроки.

**Ключевые слова:** устройства железнодорожной автоматики и телемеханики; техническое обслуживание; планирование технического обслуживания; цифровая модель.

**DOI:** 10.20295/2412-9186-2022-8-02-178-187

## ▼ Введение

Внедрение цифровых технологий в настоящее время является одной из глобальных задач, стоящих перед ОАО «РЖД». Принятая и реализуемая Стратегия цифровой трансформации ОАО «РЖД» определяет пути решения стоящих перед компанией стратегических задач на базе создания и использования ряда цифровых платформ. Одним из направлений Стратегии является разработка платформы оператора линейной инфраструктуры, в рамках которой осуществляется цифровая трансформация хозяйства автоматики и телемеханики [1].

Актуальная задача в рамках цифровой трансформации — переход на обслуживание устройств в зависимости от их фактического состояния на основе автоматизации измерений (непрерывного мониторинга) значений

параметров объектов [1]. Для устройств, имеющих заданный ресурс функционирования, ставится задача автоматизации оценки остаточного ресурса с целью планирования работ по своевременной проверке или замене (ремонту) оборудования.

Технологии обслуживания устройств инфраструктуры, предусматривающие сведение к минимуму, а в идеале — исключение влияния так называемого человеческого фактора на качество выполнения работ, считаются наиболее перспективными [2]. При невозможности исключения периодического обслуживания с участием человека необходимо стремиться к увеличению периодичности такого обслуживания. Одна из задач цифровой трансформации — как можно более широкое внедрение таких технологий. Дополнительным эффектом

от реализации этой задачи будет сокращение ресурсозатрат на техническое обслуживание. Здесь возникают требующие решения взаимно противоположные задачи: с одной стороны, все регламентированные работы должны быть выполнены с периодичностью, не превышающей установленную в нормативно-технической документации, с другой стороны, необходимо минимизировать затраты на выполнение работ и влияние «человеческого фактора» на качество выполнения работ.

Для устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) в настоящее время применяется планово-предупредительное техническое обслуживание (ППТО) с периодическим (при отсутствии средств технического диагностирования и мониторинга) или непрерывным (при наличии средств технического диагностирования и мониторинга) контролем. Планово-предупредительное техническое обслуживание не учитывает фактическое состояние устройств в момент начала выполнения работ, а периодичность выполнения работ устанавливается Инструкцией по техническому обслуживанию и ремонту устройств и систем сигнализации, централизации и блокировки<sup>1</sup>. При этом работы, технология выполнения которых предусматривает имитацию различных внешних воздействий на устройства ЖАТ, должны выполняться независимо от того, оснащены или нет устройства ЖАТ средствами технического диагностирования и мониторинга.

При такой организации технического обслуживания неизбежно возникают непроизводительные ресурсозатраты, основными причинами которых являются несовершенство технологии выполнения работ, неоптимальное планирование работ, необходимость выполнения некоторых работ только в свободное от движения поездов время. Одним из путей сокращения непроизводительных ресурсозатрат

является разработка новых подходов к планированию технического обслуживания, причем как к планированию на длительный период (распределение отдельных видов работ по датам), так и к оперативному планированию (составление порядка выполнения отдельных работ в течение одной смены).

Целью статьи является рассмотрение ряда вопросов и проблем в области оптимального планирования работ по техническому обслуживанию устройств ЖАТ в процессе реализации ППТО, включая анализ современного уровня и возможностей увеличения количества задач, решаемых при автоматизации планирования.

### **1. Актуальность реализации автоматического планирования процессов технического обслуживания устройств ЖАТ**

Как определено в Инструкции<sup>1</sup>, планирование процессов технического обслуживания устройств ЖАТ осуществляется на следующих уровнях:

- составляются годовая и четырехнедельный планы-графики, в которых указываются набор подлежащих выполнению работ и периодичность их выполнения;
- на основании годового и четырехнедельного планов-графиков, а также с учетом необходимости выполнения не предусмотренных планами-графиками работ составляется оперативный план работ на месяц;
- на основании оперативного плана работ на месяц, а также с учетом результатов выполнения периодических работ составляются суточные задания.

Непосредственное планирование выполнения конкретных работ осуществляется таким образом, чтобы одни и те же работы на одних и тех же объектах выполнялись через равные, не превышающие установленную периодичность интервалы времени, а также с учетом необходимости совмещать выполнение разных, в том числе технологически связанных работ на одном объекте.

Все работы по техническому обслуживанию устройств ЖАТ можно разделить на две группы в зависимости от технологии выполнения.

<sup>1</sup> Инструкция по техническому обслуживанию и ремонту устройств и систем сигнализации, централизации и блокировки; утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 30.12.2015 № 3168р. (в ред. распоряжения ОАО «РЖД» от 01.09.2016 № 1795р); (В ред. распоряжения ОАО «РЖД» от 18.02.2019 № 286/р). М.: ОАО «РЖД», 2019, 132 с.

К первой группе относятся работы, которые выполняются без подачи дополнительных воздействий на объект контроля, то есть без вмешательства в процесс функционирования объекта (измерение значений параметров, визуальные осмотр и контроль функционирования).

Ко второй группе относятся работы, которые выполняются с подачей дополнительных воздействий на объект контроля, то есть с вмешательством в процесс функционирования объекта (имитация движения подвижной единицы или ее нахождения в определенном месте, имитация изменения режимов работы объекта, включая имитацию неисправностей). Такие работы в большинстве случаев требуют прекращения движения поездов (должны выполняться в свободное от движения поездов время).

Если рассматривать процесс технического обслуживания как процесс технического диагностирования, то виды работ можно классифицировать в соответствии с ГОСТ 20911—89<sup>2</sup> как «тестовое диагностирование» и «рабочее диагностирование». В настоящее время основным направлением сокращения ресурсозатрат на техническое обслуживание устройств ЖАТ является автоматизация работ, выполняемых по технологии «рабочего диагностирования». Автоматизация технического обслуживания (АТО) состоит в автоматическом измерении значений параметров устройств ЖАТ средствами систем технического диагностирования и мониторинга (СТДМ), реализованными как в виде независимых аппаратно-программных комплексов [3, 4], так и в виде подсистем в составе интегрированных систем централизации стрелок и светофоров [5] или систем автоблокировки [6]. Современные измерительно-вычислительные комплексы СТДМ обеспечивают измерение значений электрических и временных параметров устройств ЖАТ и формирование диагнозов в форме «состояние объекта — исправное/неисправное/предотказное».

Эффективным способом сокращения ресурсозатрат на ППТО, особенно на линиях с невысокой интенсивностью движения поездов,

является оптимизация сроков проведения регламентных работ [7]. Однако и при таком подходе к планированию количество выполняемых работ существенно не сокращается.

Другим, не реализуемым в настоящее время направлением сокращения ресурсозатрат на техническое обслуживание устройств ЖАТ является минимизация объема работ, выполняемых по технологии «тестового диагностирования». Здесь представляется перспективным следующий подход. Пусть для выполнения какой-либо работы требуется имитация определенной технологической ситуации, и данная ситуация была зафиксирована в процессе функционирования объекта. Тогда при условии, что средствами СТДМ производится непрерывное измерение значений параметров объекта, рассматриваемую работу можно считать выполненной. Следовательно, «тестовое диагностирование» будет заменено «рабочим диагностированием», выполненным по технологии АТО.

Таким образом, актуальной является задача автоматизации планирования работ в рамках планово-предупредительного обслуживания устройств ЖАТ на основе фиксации технологических ситуаций, эквивалентных имитации функционирования устройств в различных режимах. Для реализации поставленной задачи необходимо разработать соответствующие цифровые модели, обеспечивающие идентификацию технологических ситуаций и определение множества работ, которые будут считаться выполненными, а также множества работ, которые требуется выполнить в установленные сроки.

## **2. Современные подходы и методы постановки и решения задач по автоматизации планирования работ по ППТО**

Целью автоматического планирования работ по ППТО является составление календарных графиков на заданные интервалы времени. Основным условием для любой постановки такой задачи является соблюдение установленной периодичности выполнения работ — каждая конкретная работа должна быть выполнена с периодичностью, не

<sup>2</sup> ГОСТ 20911—89. Техническая диагностика. Термины и определения. М: Изд-во стандартов, 1990, 13 с.

превышающей установленную в технической документации на объект. При этом в условии задачи могут вводиться ограничения на объем имеющихся ресурсов или требования учитывать график (расписание) работы объектов обслуживания.

В настоящее время в ОАО «Российские железные дороги» создана и функционирует Единая корпоративная автоматизированная система управлением инфраструктурой (ЕК АСУИ), которая на основе анализа данных, поступающих из различных источников (автоматизированные системы формирования информации, ручной ввод данных), реализует задачи планирования регламентных работ и неотложных (внеплановых) работ. Для того чтобы работа получила статус «выполненной», требуется ручной ввод соответствующей информации с уровня линейного предприятия. В перспективе в ЕК АСУИ планируется также решать задачи, связанные с прогнозированием состояния объектов инфраструктуры и назначением работ в зависимости от фактического состояния объектов (задачи предиктивной аналитики). Ожидаемыми эффектами от расширения функций ЕК АСУИ являются минимизация непроизводительных ресурсозатрат и минимизация влияния человеческого фактора на уровень надежности объектов инфраструктуры [8].

В [9] рассматривается решение задачи автоматического составления календарных графиков при условии, что все работы должны быть выполнены в установленные сроки, причем сроки выполнения работ остаются неизменными. Особенностью планирования является то, что учитывается не только время выполнения работ непосредственно по ТО объектов, но и время выполнения подготовительных и сопутствующих работ.

Решение задачи автоматического составления оптимальных календарных графиков рассмотрено в [10]. В качестве критерия оптимальности приняты минимальные ресурсозатраты (расходы) на производство работ при выполнении условия «вероятность выполнения всех установленных работ должна быть не ниже заданного значения». Здесь же показано решение задачи планирования в случае, когда объем работ превышает производственные

возможности отдельных подразделений, выполняющих эти работы: определяется возможность (вероятность) выполнения заданного множества работ и планируется перераспределение работ между подразделениями. Важным свойством процесса планирования является непрерывный мониторинг хода технологического процесса и возможность автоматической корректировки плана работ с учетом фактически затраченного времени на выполнение отдельных работ (увеличение сверх нормативного) и с учетом необходимости выполнения дополнительных (ремонтно-восстановительных) работ при выявлении в процессе ППТО отступлений от норм содержания.

Задача, аналогичная по постановке [10], но с учетом расписания использования объектов по прямому назначению рассмотрена в [11]. Здесь планирование работ по ППТО заключается в группировании в одно время регламентных работ с разным периодом выполнения для одного объекта. При этом горизонт планирования не изменяется, но планы корректируются при каждом зафиксированном изменении значений параметров или условий эксплуатации объекта, влияющих на периодичность ТО. Метод планирования работ по профилактическому обслуживанию объектов железнодорожной инфраструктуры на основе группирования работ в один и тот же период времени и минимизации ресурсозатрат рассмотрен в [12].

Планирование технического обслуживания объектов железнодорожной инфраструктуры в условиях ограниченного времени на выполнение работ рассмотрено в [13]. Ограничение времени на выполнение работ обусловлено продолжительностью «технологических окон» в графике движения поездов. Планирование работ по ППТО заключается в группировании в одно время регламентных работ для различных объектов.

Нельзя согласиться с подходом, предлагаемым в [14], где планирование на основе установленных регламентных сроков и фактического состояния оборудования признается неэффективным и предлагается изменять концепцию ТО в зависимости от стратегических целей предприятий и наличия эксплуатационных ресурсов.

Перспективным представляется подход к автоматизации планирования технологических процессов с использованием так называемого интеллектуального планировщика, с помощью которого минимизируются риски ошибочных действий аналитиков знаний в процессе планирования [15, 16].

На основании рассмотренного опыта решения задач автоматического планирования работ по ППТО для объектов железнодорожной инфраструктуры и в других отраслях можно заключить следующее. Задачи автоматического планирования работ относятся к классу задач ресурсно-календарного планирования и решаются в различных отраслях применительно к различным объектам методами темпорального планирования с учетом ограничений. При этом обобщенная постановка таких задач предполагает, что набор выполняемых работ остается неизменным на период планирования, и изменение состава работ в динамике рассматривается только с точки зрения добавления новых работ в зависимости от изменения (ухудшения) состояния объекта (что является уже элементом планирования технического обслуживания «по состоянию»).

Таким образом, задача автоматического формирования и корректировки графика работ по ППТО на основе автоматической фиксации и непрерывного обновления информации о выполненных работах путем использования цифровой модели технологического процесса в доступных источниках не рассматривалась.

### 3. Модель и алгоритм автоматического планирования работ по ППТО устройств ЖАТ

Задачу автоматического планирования работ по ППТО устройств ЖАТ сформулируем следующим образом. Требуется составить график выполнения заданного множества работ при известной периодичности выполнения каждой работы. С целью сокращения ресурсозатрат в график не должны включаться работы, для выполнения которых требуется имитация определенных режимов функционирования устройств, если такие режимы были реализованы.

Будем использовать следующие определения:

«событие» — реализация объектом одной из предусмотренных алгоритмом функционирования задач (одного из режимов функционирования) при подаче на него допустимых внешних воздействий;

«работа» — совокупность технологических операций в процессе технического обслуживания, установленная соответствующей технико-нормировочной картой (картой технологического процесса);

«фактически выполненная работа» — работа, выполненная эксплуатационным персоналом;

«логически выполненная работа» — признание работы, выполненной средствами цифровой модели;

«регламентированное время» — время, не позднее которого должна быть выполнена работа (определяется на основании установленной в технической документации периодичности выполнения работы);

«превентивное время» — время, предшествующее регламентированному времени с заданным запасом времени;

«запас времени» — разница между регламентированным и текущим временем.

Модель процесса планирования работ по ППТО показана на рисунке, где использованы следующие обозначения:

$M = (m_1, m_2, \dots, m_b)$  — множество работ по ТО УЖАТ, которые необходимо выполнить в установленные регламентом сроки (с установленной периодичностью);

$E = (e_1, e_2, \dots, e_a)$  — множество событий, логически эквивалентных имитации различных режимов и условий эксплуатации УЖАТ, предусмотренных технологией выполнения работ по ТО;

$t_r$  — регламентированное время;

$t_p$  — превентивное время;

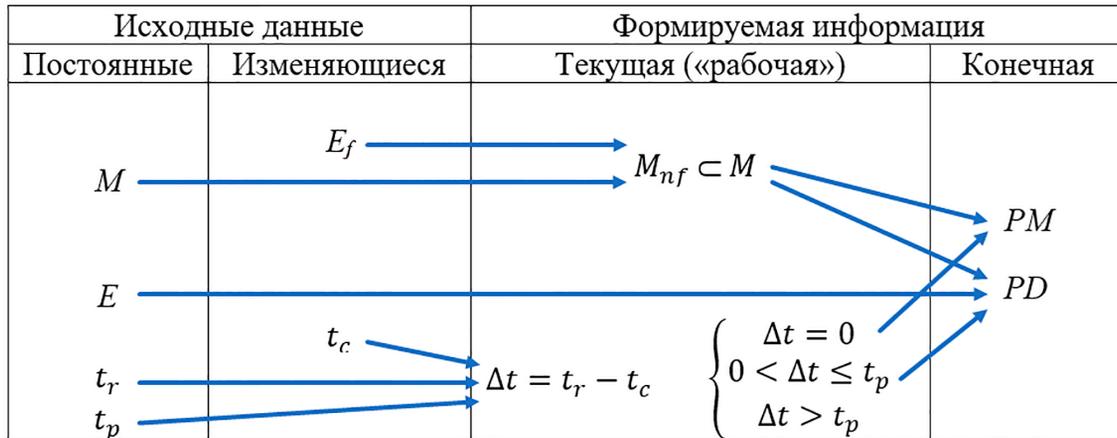
$E_f$  — множество реализованных (выполненных) событий,  $E_f \subset E$ ;

$t_c$  — текущее время;

$M_{nf}$  — множество невыполненных работ,  $M_{nf} \subset M$ ;

$\Delta t$  — запас времени до момента  $t_p$ ;

$PM$  — информация, формируемая для эксплуатационного персонала, выполняющего работы по ТО устройств ЖАТ (множество работ  $M_{nf}$ , которые необходимо выполнить);



Последовательность действий по планированию работ

$PD$  — информация, формируемая для оперативного персонала, выполняющего действия по реализации событий (множество событий, которые необходимо реализовать для выполнения всех работ из множества  $M_{nf}$ ; здесь следует отметить, что необходимо определить минимальный набор событий, обеспечивающий выполнение всех работ из множества  $M_{nf}$ ).

Основными компонентами цифровой модели являются:

- база знаний, содержащая правила принятия решений о реализации событий, о логическом выполнении работ, о выборе сценария реализации процесса в зависимости от величины запаса времени, а также алгоритмы формирования множества невыполненных работ и множества подлежащих реализации событий;
- статическая база данных, содержащая информацию, не изменяющуюся как минимум в течение одного периода планирования, — периодичность выполнения работ по ППТО согласно технической документации, множество подлежащих выполнению работ, множество возможных событий, логическая взаимозависимость событий и работ;
- динамическая база данных, содержащая информацию, изменяющуюся в течение одного периода планирования, — множество выполненных и невыполненных работ, множество реализованных и подлежащих реализации событий, текущее время, величина запаса времени.

Алгоритм планирования работ на основе цифровой модели можно описать следующим образом.

Шаг 1. Исходные данные задаются кортежем  $(M, E, C_{EM}, t_r, t_p)$ , где  $C_{EM}: E \rightarrow M$  — отображение, определяющее соответствие элементов множества  $E$  элементам множества  $M$  (соответствие реализованных событий логически выполненным работам). Регламентированное время задается как день, в который требуется выполнить заданное множество работ в соответствии с установленной периодичностью. Превентивное время устанавливается на один или два дня (в общем случае на  $n$  дней) раньше момента  $t_r$ .

Шаг 2. Непрерывный мониторинг реализованных событий  $e_i$  и отсчет текущего времени  $t_c$ .

Логическое правило, по которому принимается решение о реализации события, следующее: событие  $e_i$  считается реализованным, если было зафиксировано последовательное изменение состояния объекта (элементов объекта) в порядке, предусмотренном алгоритмом функционирования объекта при подаче на него соответствующих внешних воздействий (зафиксирована нормальная (правильная) реализация одного из режимов функционирования объекта). В результате формируется множество  $E_f \subset E$ .

Отсчет текущего времени производится либо непрерывно, либо один раз в сутки, например в 8 ч 00 мин. В пользу последнего варианта можно привести следующие аргументы: если пересчитывать  $\Delta t$  каждый раз после изменения множества реализованных событий, то увеличится объем вычислений;

необходимости в этом нет, так как оперативное планирование работ по ТО выполняется один раз перед сменой, а информация для оперативного персонала также нужна один раз перед сменой.

Шаг 3. Определение множества выполненных работ.

Логическое правило, по которому принимается решение о выполнении работы, следующее: работа  $m_i$  считается логически выполненной, если были реализованы события  $E_{fi} \subset E$ , логически эквивалентные имитации режимов и условий эксплуатации объекта, предусмотренных технологией выполнения данной работы.

Шаг 4. Определение запаса времени  $\Delta t$  как разницы между регламентированным и текущим временем.

Выбор дальнейших действий в зависимости от значения  $\Delta t$  осуществляется по следующим правилам:

если запас времени превышает превентивное время ( $\Delta t > t_p$ ), то переход к шагу 2;

если запас времени есть, но превентивное время уже наступило ( $0 < \Delta t \leq t_p$ ), то переход к шагу 5;

если запас времени отсутствует ( $\Delta t = 0$ ), что означает « $t_r$  — сегодня», то переход к шагу 9.

Шаг 5. Определение множества невыполненных работ (если для выполнения каждой работы  $m_i$  необходимо (достаточно) реализовать хотя бы одно связанное с ней событие  $e_i$ ).

5.1. Отображение  $C_{EM}$  представляется в виде двудольного графа  $G_{EM}(V_M, V_E, C_{em})$  с множеством вершин  $V_M$ , соответствующим множеству  $M$ , и  $V_E$ , соответствующим множеству  $E$ , соединенных дугами  $C_{em}$ .

5.2. Из множества  $V_E$  удаляются все вершины, не входящие во множество  $E_f$ ; также удаляются все дуги, связывающие удаленные вершины с вершинами из множества  $V_M$ .

5.3. Рассматривается вершина  $e_i \in V_{fi}$ . Из множества  $V_M$  удаляются все вершины, связанные с вершиной  $e_i$ . Рассмотренная вершина  $e_i$  удаляется из множества  $V_E$ .

5.4. Если во множестве  $V_E$  есть вершины, то переход к 5.3; если  $V_E = \emptyset$ , то переход к 5.5.

5.5 Вершины  $m_i$ , оставшиеся во множестве  $V_M$ , соответствуют множеству невыполненных работ  $M_{nf}$ .

Шаг 5. Определение множества невыполненных работ (если для выполнения каждой работы  $m_i$  необходимо реализовать все связанные с ней события  $e_i$ ).

5.1. Отображение  $C_{EM}$  представляется в виде двудольного графа  $G_{EM}(V_M, V_E, C_{em})$  с множеством вершин  $V_M$ , соответствующим множеству  $M$ , и  $V_E$ , соответствующим множеству  $E$ , соединенных дугами  $C_{em}$ .

5.2. Из множества  $V_E$  удаляются все вершины, не входящие в множество  $E_f$ .

5.3. Все вершины из множества  $V_M$ , связанные с удаленными вершинами множества  $V_E$ , соответствуют множеству невыполненных работ  $M_{nf}$ .

Шаг 6. Формирование множества событий, которые необходимо реализовать для выполнения (логического) оставшихся невыполненными работ.

6.1. Отображение  $C_{EM}$  представляется в виде двудольного графа  $G_{EM}(V_M, V_E, C_{em})$  с множеством вершин  $V_M$ , соответствующим множеству  $M$ , и  $V_E$ , соответствующим множеству  $E$ , соединенных дугами  $C_{em}$ .

6.2. Из множества  $V_M$  удаляются все вершины, не входящие во множество  $M_{nf}$ ; также удаляются все дуги, связывающие удаленные вершины с вершинами из множества  $V_E$ .

6.3. Если во множестве  $V_E$  есть вершины, не связанные ни с одной из вершин множества  $V_M$ , то такие вершины удаляются. Оставшиеся вершины ( $e_1, e_2, \dots, e_k$ ) составляют искомое множество событий.

В результате из графа  $G_{EM}(V_M, V_E, C_{em})$  выделяется подграф  $G_{EpMnf}(V_{Mnf}, V_{Ep}, C_{em})$ , где  $V_{Mnf} \subset V_M$  — подмножество вершин, соответствующих невыполненным работам,  $V_{Ep} \subset V_E$  — подмножество вершин, соответствующих событиям, которые необходимо реализовать для логического выполнения всех работ из множества  $M_{nf}$ .

Шаг 7. Определение минимального набора событий  $E_{sbf}$ , которые необходимо реализовать для выполнения всех невыполненных работ (если для выполнения каждой работы  $m_i$  необходимо (достаточно) реализовать хотя бы одно связанное с ней событие  $e_i$ ). Для решения поставленной задачи рассматривается подграф  $G_{EpMnf}$  к которому применяется алгоритм, построенный на основе алгоритма построения

проверяющего теста минимальной длины для комбинационного автомата [17].

7.1. Если во множестве  $V_{Mhf}$  есть вершина  $m_i$ , имеющая только одну дугу, то переход к 7.2 (при наличии нескольких таких вершин выбирается любая); если таких вершин нет, то переход к 7.5.

7.2. Событие  $e_i$ , связанное дугой с вершиной  $m_i$ , включается в набор  $E_{sbf}$ .

7.3. Из множества  $V_{Mhf}$  удаляются вершина  $m_i$ , выбранная в 7.1, и все вершины, связанные с вершиной  $e_i$ .

7.4. Если во множестве  $V_{Mhf}$  не осталось вершин ( $V_{Mhf} = \emptyset$ ), то набор  $E_{sbf}$  считается сформированным; иначе — переход к 7.1.

7.5. Из множества  $V_{Ep}$  выбирается вершина  $e_i$ , связанная с наибольшим количеством вершин множества  $V_{Mhf}$ ; событие  $e_i$  включается в набор  $E_{sbf}$ .

7.6. Из множества  $V_{Mhf}$  удаляются все вершины, связанные с вершиной  $e_i$ . Переход к 7.1.

Шаг 7. Определение минимального набора событий, которые необходимо реализовать для выполнения всех невыполненных работ (если для выполнения каждой работы  $m_i$  необходимо реализовать все связанные с ней события  $e_i$ ). Для решения поставленной задачи рассматривается подграф  $G_{EpMhf}$ . В набор  $E_{sbf}$  включаются все вершины множества  $V_{Ep}$ .

Шаг 8. Формирование информации для оперативного персонала. Оперативному персоналу выдаются рекомендации в формате минимального набора событий, которые необходимо реализовать для выполнения всех невыполненных работ, с указанием времени, в течение которого данные события должны быть реализованы. Переход к шагу 2.

Шаг 9. Формирование информации для эксплуатационного персонала. Эксплуатационному персоналу предоставляется перечень работ, которые необходимо выполнить в течение ближайшей смены (дня). Переход к Шагу 1 (для следующего периода планирования).

Рассмотренный алгоритм планирования может использоваться для работ с одинаковой периодичностью выполнения и одинаковым начальным моментом отсчета регламентированного времени, то есть для работ, выполнение которых запланировано в один день. В случае, когда выполнение однотипных работ

запланировано в течение нескольких дней, множество  $M$  разбивается на непересекающиеся подмножества  $MSi \subset M$  для каждого  $i$ -го дня, и для каждого подмножества  $MSi$  применяется алгоритм планирования. В случае, когда в состав множества  $M$  входят работы с различной периодичностью выполнения, множество  $M$  разбивается на непересекающиеся подмножества  $MSi \subset M$  для каждой группы работ с одинаковой периодичностью выполнения и одинаковым начальным моментом отсчета регламентированного времени.

Реализация автоматического планирования работ по ППТО устройств ЖАТ возможна при оборудовании станции системой микропроцессорной (релейно-процессорной) или диспетчерской централизации в увязке с системой технического диагностирования и мониторинга [18]. Информационное обеспечение оперативного и эксплуатационного персонала будет реализовано либо по стандартному интерфейсу в соответствии с актуальными техническими решениями [3], либо на основе единой цифровой информационной платформы [19].

## Заключение

Результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Впервые поставлена задача автоматического формирования и корректировки графика работ по планово-предупредительному техническому обслуживанию устройств железнодорожной автоматики и телемеханики на основе автоматической фиксации и непрерывного обновления информации о выполненных работах путем использования цифровой модели технологического процесса. Предложен подход к автоматизации планирования работ на основе фиксации технологических ситуаций, эквивалентных имитации функционирования обслуживаемых устройств в различных режимах.

2. Разработаны модель и алгоритм формирования динамически изменяющегося множества невыполненных работ на основе автоматической фиксации и непрерывного обновления информации о логически выполненных работах. Принятие решений осуществляется на основе результатов логического контроля хода технологического процесса: работа считается

выполненной, а объект считается исправным, если процесс реализован, не выявлено нарушений логики функционирования объекта, значения всех параметров объекта находятся в пределах, установленных технической документацией.

3. Интеграция задач автоматизации технического обслуживания и автоматизации планирования технического обслуживания на основе ведения цифровых моделей позволит сократить ресурсозатраты на техническое обслуживание в целом, а также потери времени, вызванные сложностями решения ряда организационных проблем, возникающих при взаимодействии эксплуатационных структурных подразделений с сервисными центрами, выполняющими работы по планово-предупредительному техническому обслуживанию устройств железнодорожной автоматики и телемеханики [20]. Также представляется актуальной задачей реализация предложенного подхода к планированию в условиях ограниченных ресурсов на техническое обслуживание устройств железнодорожной автоматики и телемеханики [21]. ▲

### Библиографический список

1. Поменков Д. М. Цифровая трансформация хозяйства автоматики и телемеханики / Д. М. Поменков // Автоматика, связь, информатика. — 2019. — № 4. — С. 12–14.
2. Насонов Г. Ф. Цифровая трансформация инфраструктуры / Г. Ф. Насонов // Автоматика, связь, информатика. — 2019. — № 4. — С. 2–4.
3. Сепетый А. А. Система технического диагностирования и мониторинга устройств ЖАТ (СТДМ АДК-СЦБ): монография / А. А. Сепетый, А. Е. Федорчук, М. В. Прищеп и др. Ростов-на-Дону: РГУПС, 2012, 347 с.
4. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: монография / Д. В. Ефанов. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016, 171 с.
5. Гибридная система централизации стрелок и светофоров «РПЦ-ДОН»: монография / Под общей ред. И. Д. Долгого, А. Г. Кулькина. Ростов-на-Дону: РГУПС, 2012, 388 с.
6. Шухина Е. Е. Диагностика АБТЦ-МШ / Е. Е. Шухина, А. В. Марков, И. М. Кравец, С. С. Шурыгин // Автоматика, связь, информатика. — 2015. — № 1. — С. 8–9.
7. Шаманов В. И. Совершенствование системы технического обслуживания устройств автоматики / Шаманов В. И., Пультяков А. В // Автоматика, связь, информатика. — 2008. — № 12. — С. 13–15.
8. Кайнов В. М. Цифровизация технологий в инфраструктурном комплексе / В. М. Кайнов // Автоматика, связь, информатика. — 2019. — № 4. — С. 9–10.
9. Полосин А. Н. Система поддержки принятия решений по планированию обслуживания средств измерений технологических переменных на нефтеперерабатывающем предприятии / А. Н. Полосин, А. Н. Громов // Математические методы в технике и технологиях — ММТТ. — 2019. — Т. 7. — С. 130–135.
10. Чапоргин В. С. Оптимальное планирование поверки и ремонта средств измерений параметров ракетно-космической техники космодрома / В. С. Чапоргин, Н. С. Кулиш, Ю. В. Богданов // Двойные технологии. — 2008. — № 4(45). — С. 40–46.
11. Станкевич А. М. Задача оптимального формирования пакетов работ на техническое обслуживание воздушных судов (общая постановка) / А. М. Станкевич // Научно-технический вестник Поволжья. — 2018. — № 10. — С. 196–198.
12. Budai G. Scheduling Preventive Railway Maintenance Activities / G. Budai, D. Huisman and R. Dekker // Conference: Systems, Man and Cybernetics, 2004 IEEE International Conference. Journal of the Operational Research Society. — 2006. — Vol. 57. — Pp. 1035–1044. — DOI: 10.1057/palgrave.jors.2602085.
13. Dao C. Maintenance scheduling for railway tracks under limited possession time / C. Dao, R. Basten, A. Hartmann // Journal of Transportation Engineering Part A: Systems. — 2018. — Vol. 144(8). — [04018039]. — DOI: 10.1061/JTEPBS.0000163.
14. Лифарь А. С. К вопросу планирования технического обслуживания и ремонта гидроэнергетического оборудования / А. С. Лифарь // Перспективы науки. — 2021. — № 5(140). — С. 12–15.
15. Рыбина Г. В. Методы и средства интеллектуального планирования: применение для управления процессами построения интегрированных экспертных систем / Г. В. Рыбина, Ю. М. Блохин // Искусственный интеллект и принятие решений. — 2015. — № 1. — С. 75–93.
16. Рыбина Г. В. Методы и программные средства интеллектуального планирования для построения интегрированных экспертных систем / Г. В. Рыбина, Ю. М. Блохин // Искусственный интеллект и принятие решений. — 2018. — № 1. — С. 12–28.
17. Пархоменко П. П. Основы технической диагностики (оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства) / П. П. Пархоменко, Е. С. Согомоян; под ред. П. П. Пархоменко. — М.: Энергоатомиздат, 1981. — 319 с.
18. Швалов Д. В. Реализация поддержки принятия решений в процессе технического обслуживания станционных рельсовых цепей / Д. В. Швалов, И. Е. Уразова // Транспорт: наука, образование, производство («Транспорт-2020»): сб. науч. тр. — Т. 1. Технические науки. — Ростов-на-Дону: РГУПС, 2020. — С. 173–176.
19. Хатламаджиян А. Е. Единая станционная платформа обмена информацией низовых систем автоматизации / А. Е. Хатламаджиян, Ю. Ф. Золотарев, И. А. Ольгейзер // Автоматика, связь, информатика. — 2021. — № 11. — С. 34–36.
20. Белькевич М. В. Повышение качества эксплуатации микропроцессорных устройств / М. В. Белькевич, А. В. Пультяков, Р. В. Лихота, В. А. Алексеенко // Автоматика, связь, информатика. — 2016. — № 1. — С. 24–27.
21. Козлов П. А., Бушуев С. В. Модель рационального распределения ограниченных ресурсов на обслуживание и модернизацию систем железнодорожной автоматики / П. А. Козлов, С. В. Бушуев // Транспорт Урала. — 2015. — № 1(44). — С. 48–52.

TRANSPORT AUTOMATION RESEARCH, 2022, Vol. 8, No. 2, pp. 178–187  
DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-02-178-187

### Resource Cost Reduction While Planned-Preventive Technical Servicing of Railway Automation Devices on Digital Model Basis

#### Information about authors

**Shvalov D. V.**, PhD in Technical Sciences, Assistant Professor.  
E-mail: d\_shvalov@mail.ru

Rostov State Transport University, Department “Railway Automation and Telemechanics”, Rostov-on-Don

**Abstract:** This article considers a row of issues and problems in the area of optimal planning of jobs on technical servicing of railway automation and telemechanics devices in the process of planned-preventive servicing realization including the analysis of modern level and possibilities to increase task number being solved during automation of planning. Technologies for infrastructure device servicing, providing for minimizing and ideally - for influence elimination of so-called «human factor» on work implementation quality, are considered presently to be the most promising. One of the ways to reduce unproductive resource costs is to develop new approaches to technical servicing planning at that to, both, long-range planning (distribution of individual jobs by dates) and operational planning (making up an order to fulfill individual jobs within a shift). A vital task is a work planning automation in the frames of planned-preventive servicing of railway automation and telemechanics devices on the basis of fixation of technological situations that're equivalent to functioning imitation of devices in various modes. In order to realize the set task, it's proposed to develop corresponding digital models, which provide for technological situation identification and for the definition of work set, which will be considered as implemented, as well as the set of activities, which're needed to be implemented on time.

**Keywords:** railway automatics and telemechanics devices; technical servicing; technical servicing planning; digital model.

#### References

- Pomenkov D. M. Tsifrovaya transformatsiya khozyaystva avtomatiki i telemekhaniki [Digital transformation of the economy of automation and telemechanics]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communications, informatics.]. 2019, I. 4, pp. 12–14. (In Russian)
- Nasonov G. F. Tsifrovaya transformatsiya infrastruktury [Digital transformation of infrastructure]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communications, informatics.]. 2019, I. 4, pp. 2–4. (In Russian)
- Sepetyy A. A., Fedorchuk A. E., Prishchepa M. V., Faraponov I. A., Goman E. A. *Sistema tekhnicheskogo diagnostirovaniya i monitoringa ustroystv ZhAT (STDM ADK-STsB)* [System for technical diagnostics and monitoring of ZHAT devices (STDM ADK-STsB)]. Rostov-on-Don: RGUPS Publ., 2012. 347 p. (In Russian)
- Efanov D. V. *Funksional'nyy kontrol' i monitoring ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Functional control and monitoring of railway automation and remote control devices]. St. Petersburg: FGBOU VO PGUPS Publ., 2016. 171 p. (In Russian)
- Gibridnaya sistema tsentralizatsii strelok i svetoforov «RPTs-DON»* [Hybrid system of centralization of arrows and traffic lights “ROC-DON”]. Rostov-on-Don: RGUPS Publ., 2012. 388 p. (In Russian)
- Shukhina E. E., Markov A. V., Kravets I. M., Shurygin S. S. Diagnostika ABTs-MSh [Diagnostics of ABTC-MSh]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communications, informatics.]. 2015, I. 1, pp. 8–9. (In Russian)
- Shamanov V. I., Pul'tyakov A. V. Sovershenstvovanie sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya ustroystv avtomatiki [Improving the system of maintenance of automation devices]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communications, informatics.]. 2008, I. 12, pp. 13–15. (In Russian)
- Kaynov V. M. Tsifrovizatsiya tekhnologii v infrastrukturnom komplekse [Digitalization of technologies in the infrastructure complex]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communication, informatics.]. 2019, I. 4, pp. 9–10. (In Russian)
- Polosin A. N., Gromov A. N. Sistema podderzhki prinyatiya resheniy po planirovaniyu obsluzhivaniya sredstv izmereniy tekhnologicheskikh peremennykh na neftepererabatyvayushchem predpriyatii [Decision support system for planning the maintenance of measuring instruments for process variables at an oil refinery]. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh – MMTT* [Mathematical methods in engineering and technology - MMTT]. 2019, vol. 7, pp. 130–135. (In Russian)
- Chaporgin V. S., Kulish N. S., Bogdanov Yu. V. Optimal'noe planirovanie poverki i remonta sredstv izmereniy parametrov raket-no-kosmicheskoy tekhniki kosmodroma [Optimal planning for verification and repair of instruments for measuring the parameters of space rocket technology at the cosmodrome]. *Dvoynye tekhnologii* [Dual technologies]. 2008, I. 4 (45), pp. 40–46. (In Russian)
- Stankevich A. M. Zadacha optimal'nogo formirovaniya paketov rabot na tekhnicheskoe obsluzhivanie vozдушnykh sudov (obshchaya postanovka) [The problem of optimal formation of work packages for the maintenance of aircraft (general statement)]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzh'ya* [Scientific and technical bulletin of the Volga region]. 2018, I. 10, pp. 196–198. (In Russian)
- Scheduling Preventive Railway Maintenance Activities / Gabriella Budai, Dennis Huisman and Rommert Dekker. Conference: Systems, Man and Cybernetics. IEEE International Conference. Journal of the Operational Research Society. 2004, vol. 57, pp. 1035–1044 (2006). DOI:10.1057/palgrave.jors.2602085.
- Dao C., Basten R., Hartmann A. (2018). Maintenance scheduling for railway tracks under limited possession time. Journal of Transportation Engineering Part A: Systems, 144 (8), [04018039]. DOI: 10.1061/JTEPBS.0000163.
- Lifar' A. S. K voprosu planirovaniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta gidroenergeticheskogo oborudovaniya [On the issue of planning maintenance and repair of hydro-power equipment]. *Perspektivy nauki* [Prospects of science]. 2021, I. 5 (140), pp. 12–15.
- Rybina G. V., Blokhin Yu. M. Metody i sredstva intellektual'nogo planirovaniya: primeneniye dlya upravleniya protsessami postroeniya integrirovannykh ekspertnykh sistem [Methods and means of intelligent planning: application for managing the processes of building integrated expert systems]. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy* [Artificial intelligence and decision making]. 2015, I. 1, pp. 75–93. (In Russian)
- Rybina G. V., Blokhin Yu. M. Metody i programnye sredstva intellektual'nogo planirovaniya dlya postroeniya integrirovannykh ekspertnykh sistem [Methods and software for intelligent planning for building integrated expert systems]. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy* [Artificial intelligence and decision making]. 2018, I. 1, pp. 12–28. (In Russian)
- Parkhomenko P. P., Sogomonyan E. S. *Osnovy tekhnicheskoy diagnostiki (optimizatsiya algoritmov diagnostirovaniya, apparaturnye sredstva)* [Fundamentals of technical diagnostics (optimization of diagnostic algorithms, hardware)]. Moscow: Energoatomizdat Publ., 1981. 319 p. (In Russian)
- Shvalov D. V., Urazova I. E. Realizatsiya podderzhki prinyatiya resheniy v protsesse tekhnicheskogo obsluzhivaniya stantsionnykh rel'sovnykh tsepey [Implementation of decision support in the process of technical maintenance of station rail circuits]. *Sb. nauch. tr. «Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo» («Transport-2020»)* [Sat. scientific tr. “Transport: science, education, production” (“Transport-2020”)]. Rostov-on-Don: RGUPS Publ., 2020, vol. 1. pp. 173–176. (In Russian)
- Khatlamadzhian A. E., Zolotarev Yu. F., Ol'geyzer I. A. Edinaya stantsionnaya platforma obmena informatsiy nizovykh sistem avtomatizatsii [Unified station platform for information exchange of grassroots automation systems]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communications, informatics.]. 2021, I. 11, pp. 34–36. (In Russian)
- Bel'kevich M. V., Pul'tyakov A. V., Likhota R. V., Alekseenko V. A. Povysheniye kachestva ekspluatatsii mikroprotseornykh ustroystv [Improving the quality of operation of microprocessor devices]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communications, informatics.]. 2016, I. 1, pp. 24–27. (In Russian)
- Kozlov P. A., Bushuev S. V. Model' ratsional'nogo raspredeleniya ogranichennykh resursov na obsluzhivanie i modernizatsiyu sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki [A model for the rational distribution of limited resources for the maintenance and modernization of railway automation systems]. *Transport Urala* [Transport of the Urals]. 2015, I. 1 (44), pp. 48–52. (In Russian)