



Math-Net.Ru

All Russian mathematical portal

A. V. Gorelik, A. V. Orlov, D. V. Speranskiy, Resource optimization in management of technical maintenance of automation and remote control systems, *Izv. Saratov Univ. Math. Mech. Inform.*, 2021, Volume 21, Issue 3, 379–389

DOI: 10.18500/1816-9791-2021-21-3-379-389

Use of the all-Russian mathematical portal Math-Net.Ru implies that you have read and agreed to these terms of use

<http://www.mathnet.ru/eng/agreement>

Download details:

IP: 18.97.14.88

February 7, 2025, 11:36:50





Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2021. Т. 21, вып. 3. С. 379–389

Izvestiya of Saratov University. Mathematics. Mechanics. Informatics, 2021, vol. 21, iss. 3, pp. 379–389

<https://mmi.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9791-2021-21-3-379-389>

Научная статья

УДК 626.25

Оптимизация ресурсов при управлении технической эксплуатацией систем автоматики и телемеханики

А. В. Горелик, А. В. Орлов, Д. В. Сперанский[✉]

Российский университет транспорта, Россия, 127993, г. Москва, ул. Часовая, д. 22/2

Горелик Александр Владимирович, доктор технических наук, заведующий кафедрой систем управления транспортной инфраструктурой, agorelik@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6640-6650>

Орлов Александр Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры систем управления транспортной инфраструктурой, summerman1978@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1313-1697>

Сперанский Дмитрий Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры систем управления транспортной инфраструктурой, speranskiy.dv@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6882-0297>

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема оптимизации ресурсов в процессе эксплуатации технических систем. В качестве примера с целью иллюстрации разрабатываемой на железнодорожном транспорте методологии ее решения (УРРАН) используются системы автоматики и телемеханики. В условиях тотального дефицита ресурсов и безграничности потребностей перед предприятиями возникает вопрос повышения эффективности технического обслуживания и ремонта систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ). Основные трудности в решении этой проблемы при ограниченных финансовых ресурсах связаны также с не всегда рациональным их распределением и недостаточным качеством технической эксплуатации инфраструктуры ЖАТ. Применяемые сейчас подходы к управлению ресурсами не всегда эффективны. Для повышения результативности управления ресурсами, рисками и анализом надежности объектов транспортной инфраструктуры разрабатываемая методология УРРАН имеет целью минимизацию затрат в процессе жизненного цикла устройств и систем ЖАТ. Такая минимизация может быть достигнута за счет строгой математической постановки ряда оптимизационных задач, разработки методов их решения и создания соответствующих программных модулей. В статье сформулирован ряд оптимизационных задач, решение которых позволит улучшить функционирование устройств ЖАТ. Кроме того, предложены возможные подходы для эффективного решения сформулированных задач.

Ключевые слова: распределение ресурсов, технические системы, проблемы управления, оптимизационные задачи

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-20-03072).

Для цитирования: Горелик А. В., Орлов А. В., Сперанский Д. В. Оптимизация ресурсов при управлении технической эксплуатацией систем автоматики и телемеханики // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2021. Т. 21, вып. 3. С. 379–389. <https://doi.org/10.18500/1816-9791-2021-21-3-379-389>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)



Article

Resource optimization in management of technical maintenance of automation and remote control systems

A. V. Gorelik, A. V. Orlov, D. V. Speranskiy✉

Russian University of Transport, 22/2 Chasovaya St., Moscow 125993, Russia

Alexander V. Gorelik, agorelik@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6640-6650>

Alexander V. Orlov, summerman1978@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1313-1697>

Dmitry V. Speranskiy, speranskiy.dv@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6882-0297>

Abstract. The article considers the topical problem of resource optimization during the maintenance process of technical systems. In order to illustrate the methodology (URRAN) developed by Russian Railways JSC to solve this problem, automation and remote control systems are used as an example. Due to a total lack of resources and the infinite needs, the company faced the challenge of improving the efficiency of maintenance and repair of railway automation and remote control systems. The main difficulties in solving this problem in the context of limited financial resources are also associated with their sometimes irrational allocation and insufficient quality of technical maintenance of the automation and remote control infrastructure. The current approaches to resource management are not always effective. To improve the efficiency of resource and risk management and analysis of the reliability of transport infrastructure facilities, the methodology URRAN, that minimizes costs of the life cycle of devices and systems, has been developed. Such minimization can be achieved through the accurate mathematical formulation of optimization problems, the development of methods for their solution and the creation of appropriate software modules. The article formulates a number of optimization problems, the solution of which will improve the functioning of the automation and remote control facilities. In addition, the possible approaches for the effective solution of the formulated problems are proposed.

Keywords: resource allocation, technical systems, management problems, optimization problems

Acknowledgements: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 17-20-03072).

For citation: Gorelik A. V., Orlov A. V., Speranskiy D. V. Resource optimization in management of technical maintenance of automation and remote control systems. *Izvestiya of Saratov University. Mathematics. Mechanics. Informatics*, 2021, vol. 21, iss. 3, pp. 379–389 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9791-2021-21-3-379-389>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Управление деятельностью любых объединений, предприятий и других подразделений принято делить на различные виды, в том числе на социальное управление (общественными процессами, людьми и организациями), естественное (например, процессами жизнедеятельности живых организмов), техническое (например, технологическими процессами) и т.п. [1–3]. В предлагаемой статье основное внимание будет уделено некоторым важным аспектам технического управления и организации эксплуатации на примере систем автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте, относящимся к сфере интересов авторов статьи. Одна из основных функций управления — это планирование. Его суть состоит в определении руководством подразделения стратегической цели и задачи, в принятии



решений по срокам и способам их достижения, в наиболее эффективном распределении ограниченных трудовых и материальных ресурсов. Как известно [1], используются различные виды планирования, в том числе стратегическое, тактическое, централизованное, краткосрочное (текущее), оперативное и т. д. Понятно, что выбор и реализация методов планирования зависит от уровня иерархии подразделений (правительство, министерство, объединение и т. д.), которыми будет осуществляться управление. Отметим, что, вместе с тем, методы планирования деятельности подразделений разного уровня иерархии могут иметь одну и ту же теоретическую основу независимо от их уровня.

Основные проблемы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) включают в себя как экономические (неэффективное расходование средств), так и производственные (например, увеличение сроков простоев оборудования) составляющие. В свою очередь, причины этих проблем носят либо организационный (неэффективные технологические процессы), либо методологический (отсутствие дифференцированных подходов к оборудованию) характер.

В условиях тотальной проблемы ограниченности ресурсов и безграничности потребностей перед предприятиями остро стоит вопрос повышения операционной эффективности. ТОиР традиционно являются «черной дырой» для бюджета, поскольку текущий уровень износа оборудования в разного рода службах часто превышает 60%. Это послужило причиной широкого применения тактики минимальных расходов: работа оборудования «на отказ», минимизация запасов и ресурсов для ТОиР. Ускоряющиеся процессы устаревания оборудования и ухудшения условий его эксплуатации в отраслях не позволяют продолжить сокращение затрат на ТОиР по аналогичной схеме. Сложившаяся общая система управления приводит к неэффективному расходованию выделяемых средств, т.е. не позволяет трансформировать затраты в улучшение производственных показателей, в том числе и служб ТОиР.

Анализ информации о различных известных предложениях по оптимизации операционной деятельности служб ТОиР дает возможность указать проблемные области в системе организации управления ими. Мы не будем останавливаться на них, но, вместе с тем, отметим, что эти области в значительной мере определяются особенностями конкретного производства. По нашему мнению, лишь детальная проработка особенностей конкретного предприятия или организации может позволить осуществлять эффективное планирование и распределение ресурсов для службы ТОиР этого предприятия или его подразделения.

Отметим, что оптимизация ресурсов для подразделений различных уровней иерархии, связанных с эксплуатацией систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), в связи с их многочисленностью является проблемой, актуальность которой не нуждается в комментариях.

Основные трудности в решении названной проблемы (они относятся и к другим техническим системам) определяются рядом факторов. К числу важных относятся следующие: ограниченность финансовых ресурсов; их не всегда рациональное распределение; невысокое качество технической эксплуатации инфраструктуры ЖАТ (несвоевременная замена оборудования, нарушение сроков проведения ремонтных работ); старение устройств ЖАТ (до 80% устройств функционирует с превышением назначенного срока службы); существенное изменение показателей качества функционирования средств ЖАТ (интенсивность отказов, приводящих к задержке поездов, коэффициент готовности).

К сожалению, применяемые сейчас подходы к управлению ресурсами и рисками при эксплуатации транспортной инфраструктуры не всегда эффективны и не



удовлетворяют в полной мере современным требованиям, в частности требованиям компании ОАО «РЖД».

В настоящее время компания ОАО «РЖД» приступила к реализации программы цифровой трансформации, которая должна существенно повысить эффективность работы всех структурных подразделений [4]. В хозяйстве автоматики и телемеханики имеется задел, обусловленный широким внедрением различных информационных систем для сбора первичных данных о различных объектах транспортной инфраструктуры. К настоящему времени объем регистрируемых данных достаточно велик, они по-разному структурированы и имеют разные форматы, поэтому эти статистические данные относятся к разряду BIG DATA. Серьезная проблема для хозяйства заключается в том, что первичные данные невозможно интерпретировать с позиции качества функционирования систем ЖАТ, что крайне важно для оценки результативности усилий обслуживающих ее подразделений. Поэтому в рамках цифровой трансформации в хозяйстве автоматики и телемеханики впервые рассматривается возможность реализации прескриптивной и предиктивной аналитики для решения задач управления процессом технической эксплуатации транспортной инфраструктуры, включающей в себя обслуживание и текущий ремонт, капитальный ремонт, модернизацию и замену аппаратуры. Задачи предиктивной аналитики к настоящему времени частично решены. Определена номенклатура показателей качества функционирования транспортной инфраструктуры и выявлены некоторые общие зависимости между ними. Кроме того, автоматизированы расчеты показателей качества функционирования инфраструктуры и деятельности структурных подразделений [5]. Учитывая величину парка различных устройств на сети РЖД и острую потребность в экономии ресурсов, принятие различных управленческих решений сводится к решению комбинаторных задач очень большой размерности.

Заметим, что в управлении техническим содержанием инфраструктуры в ОАО «РЖД» математические методы оптимизации до настоящего времени не применялись.

Что касается железных дорог в развитых зарубежных странах, то в настоящее время перед многими из них стоят аналогичные задачи оптимизации различных процессов, связанные с феноменом больших данных. В частности, для железнодорожного транспорта Северной Америки в настоящее время исследуются задачи обработки, анализа BIG DATA и оптимизации процессов технического обслуживания подвижного состава и пути [6]. Проблема цифровой трансформации, умного анализа данных и принятия решений в области оптимизации процессов стоит и перед железными дорогами Германии [7, 8], а также ряда стран Европейского сообщества, где реализуется проект единых железных дорог. В связи с этим рассматриваемая в статье проблема может представлять интерес не только в рамках компании ОАО «РЖД», но и для инфраструктурных подразделений железнодорожных компаний в различных, в том числе развитых, странах.

1. Методология управления ресурсами для улучшения качества функционирования устройств ЖАТ

Для повышения эффективности управления ресурсами, рисками и анализом надежности объектов транспортной инфраструктуры представляется необходимым создание некой общей методологии — методологии УРРАН. Применительно к хозяйству железнодорожной автоматики и телемеханики основы данной методо-



логии подробно рассмотрены в работах [9–11]. Данная методология содержит составляющие, адаптированные к решению задач из названного комплекса как для конкретных структурных подразделений, так и для отдельных устройств и систем ЖАТ. Конечной целью использования методологии УРРАН является минимизация затрат в процессе жизненного цикла устройств и систем ЖАТ. Такая минимизация может быть достигнута в конечном итоге за счет строгой математической постановки ряда оптимизационных задач и разработки методов их решения.

Естественными источниками минимизации могут служить два следующих фактора:

1) реализация процесса технической эксплуатации по результатам оценки фактического технического состояния систем и устройств ЖАТ в различные моменты времени в течение жизненного цикла;

2) адресное распределение ограниченных ресурсов с учетом фактически выявленной потребности.

С учетом специфики в упомянутых выше задачах оптимизации должны удовлетворяться некоторые очевидные ограничения. Ясно, что ряд показателей качества функционирования систем и устройств ЖАТ должен находиться в пределах граничных (допустимых) значений (уровень рисков, показатели структурной и функциональной надежности, показатели безопасности). Кроме того, количество и виды ресурсов должны быть ограничены для структурного подразделения соответствующего уровня на заданный интервал времени значениями, которые директивно определяются подразделениями верхних уровней иерархии.

В качестве основы для технического обеспечения методологии УРРАН целесообразно использовать существующие и разрабатываемые в настоящее время информационные системы (ИС), предназначенные для сбора данных и управления действующей транспортной инфраструктурой. Известно, что эксплуатируемые ныне ИС содержат программные модули, реализующие расчеты различных показателей качества функционирования реальных средств ЖАТ. Кроме того, эти ИС обеспечивают возможность получения данных о затратах ресурсов для выполнения мероприятий из востребованного перечня. В ряде случаев ИС располагают информацией о некоторых технических эффектах от реализации упомянутых мероприятий в процессе эксплуатации устройств ЖАТ. Понятно, что для дальнейшего развития и повышения эффективности практического применения методологии УРРАН возможности существующих ИС должны быть расширены за счет дополнения их новыми программными модулями с целью обеспечения качественного оперативного управления. Отметим, что принимаемые решения по управлению обязаны базироваться на реальных статистических данных о функционировании систем ЖАТ в различные временные интервалы.

Предполагается, что методология УРРАН, поддерживаемая возможностями соответствующей ИС, должна быть ориентирована на использование подразделениями разного уровня иерархии.

Что касается подразделений, непосредственно занятых эксплуатацией множества устройств и систем, то для них, по-видимому, наиболее востребованными будут возможности минимизации стоимости жизненного цикла и распределение мероприятий или ресурсов между отдельными компонентами упомянутого оборудования в пределах ответственности подразделения.

Для структурных подразделений более высокого уровня иерархии должна быть обеспечена возможность планирования мероприятий в пределах их производ-



ственной ответственности, распределения ресурсов между подчиненными им подразделениями, расчета объема выделяемых ресурсов для конкретных подчиненных им подразделений (при известных показателях его текущей и прогнозируемой деятельности), определения комбинации различных ресурсов или мероприятий для достижения максимального эффекта.

2. Оптимизационные задачи, возникающие при минимизации затрат в процессе жизненного цикла систем и устройств ЖАТ

Жизненный цикл изделий, как известно [12, 13], можно разделить на два основных периода. Первый из них, именуемый *реализационным*, связан с разработкой технических требований к изделию, процессом его проектирования, производства, установки и принятия к эксплуатации. Для эксплуатируемого изделия затраты в этом периоде уже выполнены на момент передачи изделия структурному подразделению и известны. Заметим, что эти затраты обычно представляются в виде конечномерного вектора с вещественными координатами. Каждая координата есть величина, соответствующая видам затрат по одному из общего перечня выполненных затрат.

Второй период, именуемый *эксплуатационным*, связан с техническим обслуживанием. Затраты в этот период складываются из текущих эксплуатационных расходов и инвестиций на модернизацию и капитальный ремонт. Этот вид затрат во многом определяется стратегией и тактикой, выбранными эксплуатирующим изделие структурным подразделением. Данные о затратах представляются в виде вектора, как и в реализационном периоде.

Заметим, что минимизация затрат на техническую эксплуатацию в значительной мере будет зависеть от эффекта, достигаемого за счет использования результатов решения оптимизационных задач, возникающих именно в эксплуатационном периоде.

Приведем некоторые оптимизационные задачи, результаты решений которых целесообразно использовать для минимизации затрат на техническое обслуживание и ремонт устройств или систем ЖАТ. Для решения этих задач необходимо создание соответствующих программных модулей, включаемых в виде составляющих в ИС, поддерживающих методологию УРРАН.

1. *Задачи получения прогнозной оценки длительности жизненного цикла изделия (ДЖЦ) и определения моментов времени проведения мероприятий для увеличения ДЖЦ.*

В качестве математической модели при решении этой задачи используется ориентированный граф или сеть [14–16]. Вершины сети нумеруются в порядке возрастания целыми числами начиная с 1 и наносятся на временную сетку с учетом момента времени выполнения некоторого мероприятия. Вершины сети соединяются ориентированными дугами с именами M_i , каждому из которых соответствует некоторое мероприятие, а также величины R_i , определяющей их «стоимость» (в виде затрат ресурса определенного вида).

Отметим, что значения R_i могут быть определены по усредненной динамике фактического состояния систем и устройств ЖАТ. В этом случае для других систем того же типа в аналогичных условиях эксплуатации сети будут идентичными. Однако по мере наработки размер области решений при поиске оптимума будет уменьшаться, а вершины сети могут смещаться по временной сетке.

На рис. 1 приведен пример сети, являющейся математической моделью описываемой задачи.

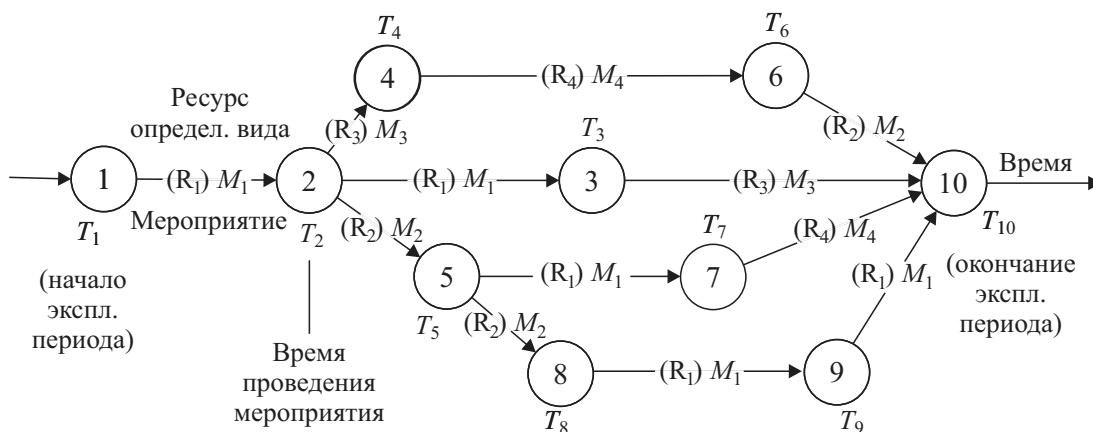


Рис. 1. Модель жизненного цикла устройств ЖАТ
 Fig. 1. Life cycle model of RAT devices

Задача состоит в поиске минимального по длине пути в сети из ее начальной вершины в конечную, длина которого дает решение рассматриваемой задачи. Здесь под длиной пути понимается сумма «стоимостей» всех дуг, входящих в этот путь.

Сформулированная задача может быть решена несколькими методами. Для сети с относительно небольшим числом вершин пригоден известный метод критического пути [17], а также сетевой график [17]. Для сети большой размерности потребуется разработка эволюционных алгоритмов [18], например генетических [19] или муравьиных [18].

Следует обратить внимание на следующие обстоятельства, которые должны быть учтены при решении оптимизационной задачи:

- ДЖЦ изначально не может быть определена с большой точностью. Она зависит от фактической динамики состояния изделия ЖАТ и других факторов. Это приводит к необходимости периодического повторного решения оптимизационной задачи;
- мероприятия по технической эксплуатации могут проводиться в различное время для различных изделий на основе обследования их технического состояния. При этом каждое мероприятие может по-разному влиять как на один и тот же показатель качества функционирования, так и на разные показатели.

2. Задачи распределения ресурсов для обслуживания однотипных устройств ЖАТ мероприятием заданного типа.

Предполагается, что на железнодорожной станции эксплуатируется оборудование, содержащее однотипные устройства некоторого множества ЖАТ (например, стрелочные электроприводы), функционирование которых обеспечивается техническим персоналом станции. Обслуживание этого оборудования состоит из выполнения ряда мероприятий (либо одного из них, либо некоторого комплекса). Примером мероприятия может служить замена устройства в целом или отдельных его деталей и т.п.

Предполагается, что эффект от выполнения конкретного мероприятия из перечня возможных для одного устройства конкретного типа известен. Этот эффект может оцениваться, например, или снижением средней величины задержек поездов, вызванных отказами рассматриваемых устройств, или увеличением средней величины остаточного ресурса оборудования ЖАТ, или затратами ресурсов.

Имеются естественные ограничения на количество устройств, подвергаемых мероприятию (из-за ограничений по времени). При выполнении этих ограничений требуется определить количество и конкретный перечень устройств, подвергаемых



одному и тому же заданному мероприятию, чтобы результирующий эффект был максимальным.

Для иллюстрации задачи на рис. 2 представлен возможный план станции с местами размещения устройств ЖАТ.

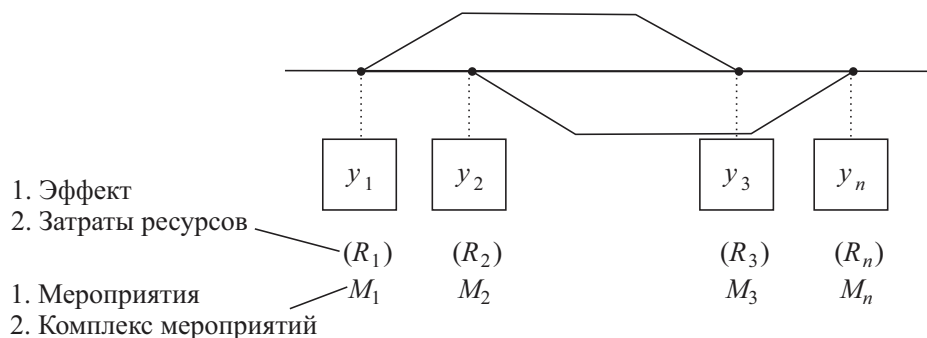


Рис. 2. Схематический план станции с размещением устройств ЖАТ
Fig. 2. Schematic plan of the station with the placement of the railway equipment

Заметим, что при решении задачи никаких ограничений на расположение электроприводов на станции, а также на очередность и распределение во времени реализации однотипных мероприятий для различных электроприводов не накладывается.

3. *Задачи распределения ресурсов по обслуживанию однотипных устройств ЖАТ комплексом мероприятий различного типа.*

Эта задача отличается от предыдущей тем, что к устройству можно применять несколько различных мероприятий из заданного перечня. Предполагается, что разные мероприятия дают разные эффекты, которые являются известными.

Решаемая задача может иметь ограничения, связанные с запретом проводить несколько различных мероприятий для одного и того же устройства или несовместимостью устройств.

При выполнении этих ограничений требуется определить план проведения мероприятий (количество, конкретный перечень устройств, подвергаемых различным мероприятиям, их последовательность), чтобы результирующий эффект был максимальным.

Две последние задачи являются сложными комбинаторными задачами, для которых отсутствуют методы получения точных решений (за исключением перебора). Поскольку практические задачи этого типа имеют большую размерность, то способ перебора для них исключается. Отсюда вытекает, что для их приближенного решения целесообразна разработка некоторых разновидностей эволюционных алгоритмов, позволяющих, как показывает имеющийся ныне опыт, за приемлемое время получать достаточно хорошие приближенные решения.

4. *Задачи распределения ресурсов по системам ЖАТ в границах производственной деятельности структурного подразделения.*

Начнем с описания реальной ситуации, постоянно имеющей место при обслуживании систем ЖАТ. В границах производственной деятельности структурного подразделения находятся системы ЖАТ на нескольких станциях. Для каждой из систем ЖАТ известен эффект от проведения различных мероприятий на единицу оборудования. Для примера в качестве оборудования рассмотрим стрелочные электроприводы. Пусть к каждому стрелочному электроприводу может быть применен



следующий перечень мероприятий, изменяющих в разной мере эффект функционирования системы в целом: текущий ремонт или ремонт на месте (М), ремонт в условиях ремонтно-технологического участка (Р), перестановка в более легкие условия эксплуатации (П).

Из-за ограниченности ресурсов в течение заданного планового периода структурное подразделение может реализовать ограниченное количество мероприятий каждого вида. Требуется так распределить мероприятия по системам ЖАТ, чтобы результирующий эффект был максимальным (минимальным). Сформулированную задачу далее будем называть задачей распределения ресурсов (ЗРР).

В качестве эффекта для исследуемой задачи может рассматриваться изменение значения риска экономических потерь, вызванных возможными отказами систем ЖАТ, показателя надежности, остаточного ресурса, производительности и т.п. [20].

Сформулированная задача является оптимизационной. В зависимости от выбранного показателя эффекта функционирования решение оптимизационной задачи может сводиться либо к поиску минимума, либо к поиску максимума.

Для некоторой конкретной задачи может существовать несколько различных подходов, на основе которых разрабатываются различные методы решения. Для сформулированной нами задачи может быть использован подход, заключающийся в сведении ее к одному из вариантов классической транспортной задачи Монжа – Канторовича, для которой разработаны эффективные методы решения [21].

Понятно, что для технических систем, в том числе систем ЖАТ, возможна постановка и других оптимизационных проблем «транспортного» типа. Актуальными могут оказаться ЗРР с ограничениями по минимуму общего времени выполнения обслуживания систем. Если ЗРР рассматривается в сетевой постановке, то могут задаваться ограничения на пропускную способность дуг в сети. Последняя интерпретируется как максимальное число выполняемых мероприятий при переходе от обслуживания одной системы ЖАТ к обслуживанию другой. Еще один вид оптимизационной ЗРР может быть аналогичен классической многопродуктовой транспортной задаче. В таких ЗРР в качестве аналога «продуктов», «потребляемых» каждой конкретной системой ЖАТ, выступает заранее задаваемое множество мероприятий по ее обслуживанию. Понятно, что дальнейшее расширение перечня подобных оптимизационных задач вполне возможно.

Заключение

Выскажем некоторые соображения, касающиеся решения сформулированных типов оптимизационных задач. Для эффективного оперативного управления решение таких задач необходимо получать за разумное время, поскольку мощности используемой вычислительной техники не безграничны. Это, в частности, означает, что применяемые методы не должны быть ресурсоемкими (например, не могут быть ориентированы на полный перебор вариантов значений параметров и т.п.). Кроме того, в качестве результата может быть использовано приближенное решение, которое не является абсолютно оптимальным, но, тем не менее, практически вполне приемлемо. Заметим, кстати, что многие эволюционные алгоритмы, которые используются для решения оптимизационных задач, носят итерационный характер, и с ростом числа итераций получаемые приближенные решения стремятся, как правило, к оптимальному.



Список литературы

1. Шипунов В. Г. Основы управленческой деятельности. Москва : Высшая школа, 2001. 327 с.
2. Новиков Д. А. Методология управления. Москва : Либроком, 2011. 128 с.
3. Грибов В. Д., Кисляков Г. В. Основы управленческой деятельности : учебник и практикум для СПО. Москва : Юрайт, 2018. 335 с.
4. Поменков Д. М. Цифровая трансформация хозяйства автоматики и телемеханики // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 4. С. 12–14.
5. Долгов М. В., Москвина Е. А., Тарадин Н. А. Автоматизация оценки деятельности подразделений хозяйства автоматики и телемеханики // Автоматика, связь, информатика. 2018. № 6. С. 2–5.
6. Zarembski A. M. Rolling with Big Data // Railway Age. 2018. Iss. 6. P. 43–44, 46–47.
7. Haertel R., Schierhorn D., Jakob Ch. Einsatz von Smart Data Services in Stellwerken = The application of Smart Data Services in interlocking systems // Signal + Draht. 2018. № 4. P. 57–64.
8. Schumann M. From “Big Data” to “Smart Data” — the next generation of condition-based maintenance // ZEVrail. 2017. Vol. 141, Edition special issue Graz 2017. P. 162–165.
9. Ерж А. Е., Горелик А. В., Солдатов Д. В., Орлов А. В. Методология управления рисками в хозяйстве автоматики и телемеханики // Автоматика, связь, информатика. 2017. № 7. С. 2–6.
10. Аношкин В. В., Горелик А. В., Поменков Д. М., Смагин С. Б. Реализация методологии УРРАН в хозяйстве автоматики и телемеханики // Автоматика, связь, информатика. 2017. № 6. С. 2–6.
11. Аношкин В. В., Горелик А. В., Орлов А. В., Тарадин Н. А., Веселова А. С. Принципы управления качеством функционирования инфраструктуры // Железнодорожный транспорт. 2018. № 9. С. 55–61.
12. Лазутин Ю. Д. Качество жизненного цикла промышленных изделий. Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. 216 с.
13. Okino N., Tamura H., Fujii S. Advances in Production Management Systems: Perspectives and Future Challenges. Springer Science & Business Media, B.V., 1998. 482 p.
14. Басакер Р., Саати Т. Конечные графы и сети. Москва : Наука, 1974, 368 с.
15. Харари Ф. Теория графов. Москва : Едиториал УРСС, 2003. 296 с.
16. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. Москва : Мир, 1978. 432 с.
17. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на графах и сетях. Москва : Мир, 1981. 328 с.
18. Скобцов Ю. А., Сперанский Д. В. Эволюционные вычисления : учеб. пособие. Москва : ИНТУИТ, 2015. 326 с.
19. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Генетические алгоритмы. Москва : Физматлит, 2006. 320 с.
20. Gorelik V. Y., Gorelik A. V., Shalyagin D. V. Assessment of operational risks of electric interlocking systems // Russian Electrical Engineering. 2018. Vol. 89, iss. 9. P. 550–554. <https://doi.org/10.3103/S1068371218090055>
21. Палий И. А. Линейное программирование : учеб. пособие. Москва : Эксмо, 2008. 256 с.

References

1. Shipunov V. G. *Osnovy upravlencheskoy deyatelnosti* [The Management Fundamentals]. Moscow, Vysshaya shkola, 2001. 327 p. (in Russian).
2. Novikov D. A. *Metodologiya upravleniya* [The Management Methodology]. Moscow, Librokom, 2011. 128 p. (in Russian).
3. Gribov V. D., Kislyakov G. V. *Osnovy upravlencheskoy deyatelnosti: uchebnik i praktikum dlya SPO* [The Management Fundamentals: Textbook and workshop for SPO]. Moscow, Yurait, 2018. 335 p. (in Russian).



4. Pomenkov D. M. Digital transformation of automation and telemechanics industry service. *Avtomatika, svyaz, informatika* [Automation, Communication and Informatics], 2019, no. 4, pp. 12–14 (in Russian).
5. Dolgov M. V., Moskvina E. A., Taradin N. A. Automation of an estimation of activity of automation and telemechanics industry service divisions. *Avtomatika, svyaz, informatika* [Automation, Communication and Informatics], 2018, no. 46, pp. 2–5 (in Russian).
6. Zarembski A. M. Rolling with Big Data. *Railway Age*, 2018, iss. 6, pp. 43–44, 46–47.
7. Haertel R., Schierhorn D., Jakob Ch. Einsatz von Smart Data Services in Stellwerken = The application of Smart Data Services in interlocking systems. *Signalling & Datacommunication*, 2018, no. 4, pp. 57–64 (in Germany and English).
8. Schumann M. From “Big Data” to “Smart Data” – the next generation of condition-based maintenance. *ZEVrail*, 2017, vol. 141, Edition special issue Graz 2017, pp. 162–165 (in Germany).
9. Erg A. E., Gorelik A. V., Soldatov D. V., Orlov A. V. Methodology of risk management in the field of automation and telemechanics. *Avtomatika, svyaz, informatika* [Automation, Communication and Informatics], 2017, no. 7, pp. 2–6 (in Russian).
10. Anoshkin V. V., Gorelik A. V., Pomenkov D. M., Smagin S. B. Implementation of the URRAN methodology in the field of automation and telemechanics. *Avtomatika, svyaz, informatika* [Automation, Communication and Informatics], 2017, no. 6, pp. 2–6 (in Russian).
11. Anoshkin V. V., Gorelik A. V., Orlov A. V., Taradin N. A., Veselova A. S. The principles of quality management infrastructure in the sector of automation and telemechanics zheleznodorozhny transport. *Zheleznodorozhny transport* [Railway Transport], 2018, no. 9, pp. 55–61 (in Russian).
12. Lazutin Yu. D. *Kachestvo giznennogo tsikla promyshlennykh izdeliy* [Quality of the Life Cycle of Industrial Products]. Moscow, Izd-vo MGTU im. N. E. Baumana, 2016. 216 p. (in Russian).
13. Okino N., Tamura H., Fujii S. *Advances in Production Management Systems: Perspectives and Future Challenges*. Springer Science & Business Media, B.V., 1998. 482 p.
14. Saaty T. L., Busacker R. G. *Finite Graphs and Networks: An Introduction with Applications*. New York, McGraw-Hill Book Company, 1965. 308 p. (Russ. ed.: Moscow, Nauka, 1974. 368 p.).
15. Harary F. *Graph Theory*. Boston, Addison-Wesley Publishing Company, 1969. 274 p. (Russ. ed.: Moscow, Editorial URSS, 2003. 296 p.).
16. Christofides N. *Graph Theory. An Algorithmic Approach*. New York, Academic Press, 1975. 397 p. (Russ. ed.: Moscow, Mir, 1978. 432 p.).
17. Minięka E. *Optimization Algorithms for Network and Graph*. New York, Marcel Dekker Inc., 1978. 300 p. (Russ. ed.: Moscow, Mir, 1981. 328 p.).
18. Skobtsov Yu. A., Speranskiy D. V. *Evolutsionnye vychisleniya* [Evolutionary Computing]. Moscow, INTUIT, 2015. 326 p. (in Russian).
19. Gladkov L. A., Kureychik V. V., Kureychik V. M. *Geneticheskie algoritmy* [Genetic Algorithms]. Moscow, Fizmatlit, 2006. 320 p. (in Russian).
20. Gorelik V. Y., Gorelik A. V., Shalyagin D. V. Assessment of operational risks of electric interlocking systems. *Russian Electrical Engineering*, 2018, vol. 89, iss. 9, pp. 550–554. <https://doi.org/10.3103/S1068371218090055>
21. Paliy I. A. *Lineynoe programmirovaniye* [Linear Programming]. Moscow, Eksmo, 2008. 256 p. (in Russian).

Поступила в редакцию / Received 05.06.2019

Принята к публикации / Accepted 13.01.2020

Опубликована / Published 31.08.2021