

ТРАНСПОРТ

ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ ANYLOGIC ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ВРЕМЕНИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕРЫВОВ ПО РЕМОНТУ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПЕРЕВОЗОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

DOI: 10.36724/2072-8735-2024-18-5-36-41

Большаков Роман Сергеевич,
Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия, Bolshakov_rs@mail.ru

Каргапольцев Сергей Константинович,
Иркутский национальный исследовательский технический
университет, г. Иркутск, Россия

Manuscript received 30 March 2024;
Accepted 05 May 2024

Ключевые слова: технологические перерывы, железнодорожная линия, потребное количество технологических окон, эксплуатационные показатели

Предметом исследования выбраны технологические перерывы при проведении ремонтных работ на железнодорожном транспорте. Технологические "окна" представляют собой интервал в движении поездов на одном из путей при двухпутном движении и имеют различную продолжительность, зависящую от запланированного ремонта и количества путевых машин, задействованных при его осуществлении. Целью проводимого исследования является оценка возможностей получения оптимальных показателей эксплуатационной работы железнодорожной линии при проведении технологических перерывов различной продолжительности для реализации ремонтных работ на перегоне. Представленные научные исследования проведены с использованием математических методов оценки оптимальной продолжительности технологического перерыва за счёт соотношения параметров финансовых затрат и значений количественных и качественных показателей работы железнодорожного транспорта. Используемые подходы позволяют получить графики зависимости количества необходимых технологических окон от времени их проведения, что включает в свой состав количество используемых локомотивов, продолжительность лимитирующей операции, длительность работы путевых машин. Полученные аналитические соотношения можно отнести к основным результатам исследований. Возможности применяемого подхода могут быть использованы при составлении директивного плана-графика планирования технологических перерывов на сети железных дорог для формирования оптимальных значений эксплуатационных показателей с учетом создания базы данных по реализации планируемых показателей на основе анализа влияющих на них факторов. Приведенные результаты численного моделирования позволяют оценивать продолжительность технологических перерывов с учетом времени на приведение путевых машин в рабочее состояние, что формирует плановую потребность в перерывах в движении поездов, влияющую на снижение плановых значений эксплуатационных показателей.

Информация об авторах:

Большаков Роман Сергеевич, доцент кафедры "Управление эксплуатационной работой", к.т.н., доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Иркутский государственный университет путей сообщения", г. Иркутск, Россия

Каргапольцев Сергей Константинович, д.т.н., профессор, "Иркутский национальный исследовательский технический университет", г. Иркутск, Россия

Для цитирования:

Большаков Р.С., Каргапольцев С.К. Применение пакета прикладных программ Anylogic для построения моделей оценки времени технологических перерывов по ремонту инфраструктуры перевозочных процессов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Том 18. №5. С. 36-41.

For citation:

Bolshakov R.S., Kargapoltsev S.K. (2024) Using the Anylogic application package to build models for estimating the time of technological breaks for repairing the infrastructure of transportation processes. *T-Comm*, vol. 18, no. 5, pp. 36-41. (in Russian)

Введение

В условиях постоянно изменяющейся экономической ситуации железнодорожному транспорту необходимо придерживаться основных стратегических установок, направленных на последовательное решение задач по обеспечению роста основных показателей компании [1-3], что связано, в первую очередь, с оценкой изменения объемов промышленного производства, повышением конкурентоспособности других видов транспорта, а также с имеющимися возможностями существующих объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта [4-6].

Роль железнодорожного транспорта в новых условиях остаётся первостепенной, так как при помощи него в устойчивом формате возможно обеспечение перевозочных процессов значительных объемов, что на данном этапе имеет важнейшее значение для развития народного хозяйства страны. Производительное функционирование холдинга связано с использованием различных средств информационных технологий, которым можно отнести математическое моделирование, являющееся основой для вычислительных систем, используемых для обеспечения планирования грузовых и пассажирских перевозок [7].

В последнее время произошло резкое увеличение нагрузки существующие станции и узлы сети железнодорожного транспорта Восточного полигона из-за изменения переориентирования грузопотоков в направлении портов Дальнего Востока. Для оценки изменения вагонопотоков и объемов погрузки в данном случае необходимо использование современных методов прогнозирования и основанных на них потоков прикладных программ [8, 9].

К основным стратегическим целям холдинга ОАО «РЖД» в данный момент времени можно отнести долгосрочное планирование, напрямую зависящее от построения достаточно точных прогнозных моделей, что необходимо для эффективного использования существующих пропускных способностей объектов инфраструктуры и их модернизации, в том числе с целью увеличения скоростей движения поездов. Также необходимо отметить рост объемов транзитных поездопотоков в рамках движения по железным дорогам Восточного полигона, что также инициирует создание подходов к построению долгосрочных прогнозов их изменения с учетом неравномерностей различных видов.

При повышении нагрузки на пропускную способность железнодорожных линий необходимо также учитывать факторы, связанные с понижением остаточного ресурса используемых технических устройств, таких как тяговый и нетяговый подвижной состав, контактная сеть, верхнее строение пути и т.д. Ремонтные работы на путях перегона связаны с появлением интервалов в движении поездов, что влечёт за собой ухудшение эксплуатационных показателей работы железнодорожного транспорта, что, в конечном итоге, приводит к экономическим потерям [10].

Усиленное внимание к поддержанию количественных и качественных показателей в плановых значениях обусловлено необходимостью уменьшения финансовых расходов, что напрямую влияет на экономическую стабильность холдинга. В этой связи повышение надежности технологических процессов является одним из приоритетных направлений развития компании и связано с поиском и разработкой новых спосо-

бов и средств аналитического и вычислительного моделирования, необходимых для формирования более точных прогнозов по изменению значений эксплуатационных показателей при проведении различных видов ремонтных работ. Ремонт составляющих элементов верхнего строения пути, к примеру, плановая замена шпал, связан с перерывами в движении поездов, что неизбежно влечёт задержки поездов различных категорий и экономические потери перевозочных процессов.

Для минимизации убытков необходима разработка способов оценки экономической эффективности проводимых ремонтных работ с учетом их влияния на эксплуатационные показатели с целью дальнейшей выработки рекомендаций для последующей корректировки проводимых технологических перерывов и оптимального использования имеющихся в момент их проведения ресурсов пропускной и провозной способности [11, 12].

Методологические подходы в области организации движения поездов при проведении технологических перерывов достаточно разнообразны и представляют собой комплекс нормативно-технической документации, регламентирующей общие положения по проведению ремонтных работ в окно при различных вариантах сопутствующих условий, связанных с количеством грузовых и пассажирских поездов, наличием путей обхода, простоем вагонов на станциях и других негативных факторах. Также необходимо отметить наличие математического аппарата, учитывающего данные обстоятельности. Однако некоторые вопросы, связанные с оценкой изменения потерь перевозочных процессов с учетом финансовых расходов, не получили должного освещения.

В предлагаемой статье рассматриваются возможности учета экономической эффективности проведения ремонтных работ в технологические перерывы.

Общие положения. Постановка задачи исследования

Функционирование такой сложной технической системы как железнодорожный транспорт связано с необходимостью поддержания всех составляющих частей в надлежащем для бесперебойной эксплуатации техническом состоянии, для чего имеется отлаженная система плановых и предупредительных ремонтов, каждый год закрепляемая в директивном плане-графике. При проведении ремонтных работ различной сложности должно учитываться большое количество факторов, влияющих на эксплуатационные показатели железнодорожного транспорта в количественном и в качественном отношении.

Обеспечение работоспособности основных технических средств железнодорожного транспорта в пригодном состоянии необходимо для обеспечения пропускной и провозной способности объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта. Плановый пропуск поездов, в особенности на Восточном полигоне, является одной из основных стратегических целей холдинга ОАО «РЖД», и влияет на множество основных стратегических направлений, связанных, в частности, с обеспечением сроков доставки грузов, клиенториентированностью компании и снижении издержек инфраструктуры.

Проведение ремонтных работ на перегонах железных дорог, согласно директивного плана, базируется на понятий-

ТРАНСПОРТ

ной базе, основанной на представлениях о технологическом перерыве или «окне», представляющем собой время прекращения движения по выбранному пути, что зависит от также от возможностей нормативного графика. В зависимости от количества путей перегона установлена различная продолжительность технологических перерывов [13].

Технологические перерывы могут, в зависимости от выполняемых операций, видов ремонтов и порядка производства работ, могут быть совмещёнными, подготовительными и заключительными, что зависит от времени начала «окна» и времени его окончания, а также от интервала времени от начала технологического окна до начала выполнения лимитирующей операции, интервала времени от конца выполнения ведущей операции до окончания технологического окна.

На оптимальную продолжительность технологического перерыва влияют эксплуатационные параметры ремонтируемого участка железной дороги, размеры движения поездов и используемый тип графика движения. Используемая на данный момент технология осуществления ремонтно-путевых работ предполагает прямая зависимость между продолжительностью технологического окна t_0 , темпом ведущей операции и фронтом работ в технологическое окно (рис. 1).

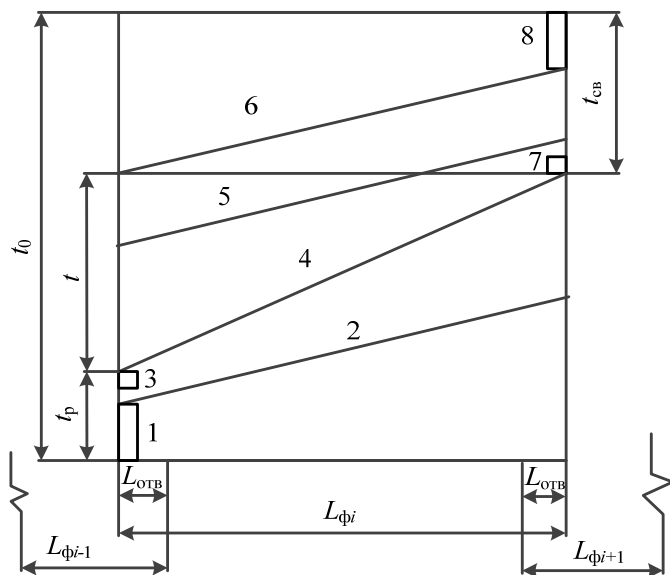


Рис. 1. Временные составляющие технологического окна

Схема временных составляющих включает в свой состав оформление закрытия перегона, пробег машин к месту работ, приведение машин в рабочее состояние 1; выполнение операций, предшествующих ведущей и последующих за ней 2, 5, 6; выполнение лимитирующей (ведущей) операции 4; зарядка и разрядка ведущей машины 3, 7; приведение машин в транспортное состояние, проверка состояния пути и устранение отступлений, пробег машин от места работ на станцию 8. Длина отвода обозначена $L_{отв}$ (в конце каждого фронта работ в случае необходимости делается отвод, который в следующее технологическое окно является начальным участком работ), км, а $L_{φi}$ – протяженность фронта работ в технологическое окно, км ($L_{φi-1}$, $L_{φi+1}$ предыдущий и последующий соответственно).

Продолжительность технологического окна t_0 , представленная на схеме, может быть найдена при помощи следующего выражения:

$$t_0 = t_p + t + t_{св} \tag{1}$$

где t_p – время на разворачивание (разворот) работ, час; t – интервал времени от начала выполнения ведущей (лимитирующей) операции до ее завершения, час; $t_{св}$ – время на свертывание работ для оформления открытия перегона, час.

Период времени t для выполнения планового объема работ с закрытием перегона определяется по лимитирующей машине с учетом протяженности фронта работ

$$t = \frac{L_{φ}}{\Pi_B}, \text{ час} \tag{2}$$

где Π_B – темп выполнения ведущей операции при ремонте пути или технологическая производительность ведущей машины, км/ч.

Приведённый математический аппарат при кажущейся простоте и линейности достаточно точно отображает все параметры, необходимые для устойчивого функционирования системы проведения ремонтных работ на перегонах в технологические перерывы. Представленные выражения могут быть преобразованы для получения необходимой формы, пригодной для графического анализа при различных сочетаниях временных параметров, входящих в технологический график операций. Данный подход позволит детализировано рассмотреть влияние различных условий на длительность технологических перерывов и их влияние на потери перевозочных процессов, а также получить кривые изменения общей продолжительности проведения технологических перерывов в зависимости от технико-технологической структуры проведения ремонтных работ с учетом времени проведения составляющих операций.

Целью исследования является анализ влияния задержек поездов, вызванных проведением ремонтных работ в технологические перерывы, на потери перевозочных процессов.

Оценка изменения количества технологических перерывов в зависимости от их продолжительности

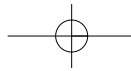
Анализ приведённых в предыдущем разделе выражений показывает, что рассматриваемые уравнения могут быть трансформированы для использования в качестве линейной математической модели. Для этого необходимо подставить в выражение (1) вместо одного из слагаемых формулу (2) для начала операций по преобразованию и получению конечного уравнения.

С учетом дополнительного соотношения между продолжительностью фронта работ и темпом ведущей операции (2) формула (1) может быть преобразована к следующему виду

$$t_0 = t_p + \frac{L_{φ}}{\Pi_B} + t_{св} \tag{3}$$

Выработка в технологическое окно определится выражением:

$$L_{φ} = t \Pi_B \tag{4}$$



Задавшись различными значениями продолжительности технологического окна t_O^i , определяется фронт работ для технологического окна определенной продолжительности.

$$L_{\phi}^i = P_B(t_O^i - t_p^i - t_{ce}^i) = P_B t^i, \text{ км.} \quad (5)$$

Общее количество технологических окон при реализации определенных технологических процессов с заданной величиной t_O^i за год определяется как:

$$n^i = \frac{L_{200}}{L_{\phi}^i - L_{oms}} + n_{nz}, \quad (6)$$

где L_{200} – годовая плановая потребность в ремонтно-путевых работах или работах по текущему содержанию с применением механизированных машинных комплексов на участке, км; n_{nz} – количество подготовительных и заключительных технологических окон.

С учетом (5) выражение примет следующий вид:

$$n^i = \frac{L_{200}}{P_B(t_O^i - t_p^i - t_{ce}^i) - L_{oms}} + n_{nz}. \quad (7)$$

Анализ выражения показывает, что изменение основных параметров, влияющих на технологические перерывы, позволит оценить оптимальное значение количество «окон» за год при различном их планируемом показателе. Дальнейшая трансформация предполагает приведение выражения (7) к общему знаменателю.

Запишем выражение (5) в трансформированной форме

$$n^i = \frac{L_{200} + n_{nz} P_B(t_O^i - t_p^i - t_{ce}^i) - n_{nz} L_{oms}}{P_B(t_O^i - t_p^i - t_{ce}^i) - L_{oms}}. \quad (8)$$

Формула (8) представляет собой дробно-рациональное выражение, имеющее в своём составе большое количество параметров, изменение которых непосредственно влияет на годовое количество технологических перерывов. Также возможно и решение задачи, связанной с известным количеством «окон» и поиском оптимальных параметров для нахождения данного значения. Такие постановки вопросов актуальны при формировании плановых значений количества ремонтных работ в расчетном периоде. Таким образом, полученное выражение можно использовать для анализа изменения количества технологических перерывов в зависимости от различных составляющих их продолжительности.

Построение графиков изменения количества предоставляемых технологических перерывов

Полученное в ходе преобразований выражение (8) может быть исследовано с помощью пакетов прикладных программ, предназначенных преимущественно для оценки различных математических моделей. Для использования данной формулы необходимо использовать значения параметров технологических операций, приближенные к практической реализации технологических перерывов.

Наибольшее влияние на общее годовое количество технологических «окон» будут оказывать временные параметры свертывания и развертывания работ, так как от них напрямую зависят непроизводительные потери [14], так как сам

технологический процесс производства работ в этот момент не реализуется.

На примере модельной задачи рассмотрим влияние технических характеристик путевых машин (развертывание и свертывание) на изменение количества технологических перерывов. Параметры модельной задачи взяты условно: $L_{год} = 1500$ км; $L_{отв} = 0,2$; $n_{пз} = 2$ ч, $P_B = 1,2$ км/ч, $t_p^i = 2, 3, 4$ ч; $t_{ce}^i = 2, 3, 4$ ч.

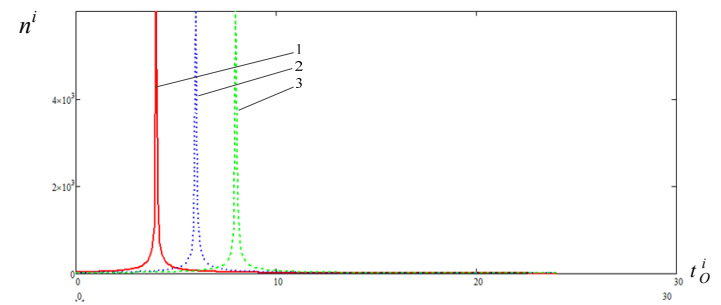


Рис. 2. Графики зависимостей количества технологических «окон» от времени их проведения. 1 – $t_p^i = t_{ce}^i = 2$ ч; 2 – $t_p^i = t_{ce}^i = 3$ ч; 3 – $t_p^i = t_{ce}^i = 4$ ч

Анализ представленных линейных зависимостей показывает уменьшение количества представляемых окон с увеличением их продолжительности, а также при использовании модуля знаменателе (8) для исключения отрицательных значений резкое их увеличение при небольшой продолжительности технологических перерывов.

После получения графиков изменения количества «окон» в зависимости от времени проведения можно построить имитационную модель пропуска поездов при наличии одного или двух главных путей. Для этой цели может быть использована программа Anylogic.

Особенности имитационной модели в среде Anylogic

Программный комплекс Anylogic позволяет решать задачи имитационного моделирования для различных систем, в том числе для железнодорожного транспорта, так как достаточно точно передает симуляцию движения поездов, в том числе приём и отправление, прицепку и отцепку вагонов и локомотивов. На основе такого программного комплекса показано движение поездов при организации работ в технологический перерыв.

Проведение технологических «окон» независимо от количества путей влечёт перерывы в движении поездов, что, в свою очередь, непосредственно влияет на ухудшение эксплуатационных показателей движения поездов, а также провоцирует экономические потери, связанные с задержками поездов различных категорий.

Представленная имитационная модель является аналогом системы взаимодействия, характерной для железнодорожного транспорта. В данном случае рассматривается часть железнодорожного пути, содержащая один или два пути перегона с программными функциями, симулирующими технологические процессы и характерными для используемой вычислительной среды. Также представлены части железнодорожных станций в упрощённом виде.



ТРАНСПОРТ

Пути перегона обладают следующими характеристиками: количество путей, тип регулирования движения поездов, деление на блок участки, логическая последовательность работы блок участков, время прохождения блок участка, направления движения поездов, времена хода поездов.

Объект станция: количество путей, специализация станционных путей, время занятости путей и горловин станции, технологические операции, проводимые с поездами, временные нормы операций, логическое взаимодействие выполняемых операций, задержки поездов, нормативы времени на маневровую работу [15].

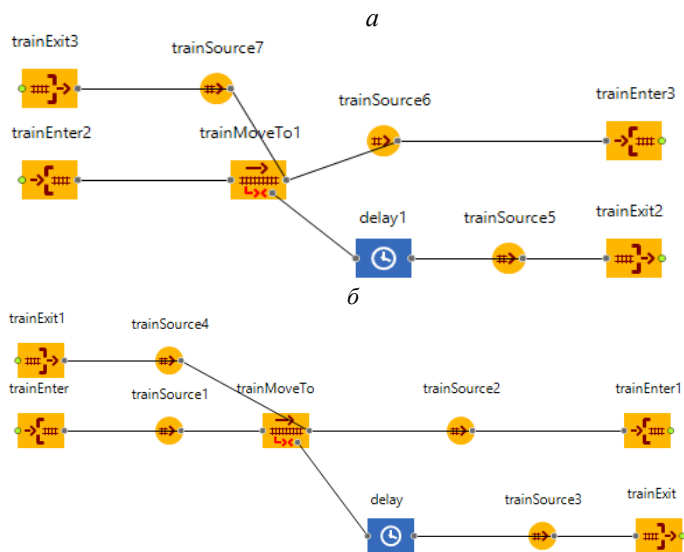


Рис. 2. Линейная модель движения поездов при проведении технологических перерывов в объектах программного комплекса Anylogic: *а* – однопутное движение; *б* – двухпутное движение

Обозначенные элементы показывают функциональные особенности составленной имитационной модели как отдельных действий, так и взаимосвязей показанных типовых звеньев между собой в процессе симуляции технологических операций по прибытию, отправлению, обработке, пропуску, прицепке отцепке вагонов и локомотивов поездов, оценка резервов доступных резервов железнодорожных станций и путей перегонов [15].

Количество повторов представленных вариантов зависит от времени и количества запланированных технологических «окон» и интенсивности движения поездов. Дальнейшие исследования могут быть связаны с увязкой технологических времен работ в технологические перерывы, графиком движения поездов и имитационным моделированием их прохождения при различных вариантах осуществления перевозочного процесса.

Заключение

Таким образом, выбранная методика оценки количества технологических перерывов за годовой промежуток времени подходит для решения поставленной задачи исследования. Полученные математические выкладки также позволяют определять количество технологических «окон» за выбранный промежуток времени, а также исследовать обратные зависимости, когда необходимо определить сочетание параметров, при которых задано количество перерывов в движении.

Использованная в качестве основного средства оценки количества предоставляемых технологических перерывов линейная зависимость методы позволяет в достаточной для принятия решений мере проанализировать существующие возможности объектов инфраструктуры по пропуску поездов в условиях проведения технологических перерывов.

Выбранный математический аппарат обладает достаточным набором параметров, изменение каждого из которых позволяет оценить особенности влияния проведения ремонтных работ на задействованные объекты железнодорожной инфраструктуры.

Анализ полученных на основе аналитических соотношений графиков изменения количества «окон» позволяет выбрать оптимальные варианты технологических перерывов в зависимости от конкретных условий развития существующей инфраструктуры железнодорожного транспорта с учетом плановых эксплуатационных показателей.

Таким образом, при помощи предлагаемого подхода можно оценить возможности получения оптимальных значений количества технологических перерывов с учетом влияния основных технических параметров путей машин, а также получить имитационную модель с возможностями оценки технологии пропуска поездов.

Литература

1. Липидус Б.М. Задачи опережающего развития российских железных дорог // Железнодорожный транспорт. 2023. № 2. С. 4-14.
2. Махутов Н.А., Липидус Б.М., Гаденин М.М., Титов Е.Ю. Задачи и перспективы развития научных исследований в рамках сотрудничества между ОАО «РЖД» и Российской академией наук // Железнодорожный транспорт. 2023. № 7. С. 6-11.
3. Кабанов А.Б., Осмигин А.Т. Научный подход к планированию железнодорожных грузовых перевозок // Железнодорожный транспорт. 2022. № 8. С. 12-16.
4. Дмитренко А.В., Селюнин И.А. Оценка влияния размеров движения на эффективность пропуска ускоренных грузовых поездов по двухпутным магистральным железнодорожным линиям // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2020. № 1(52). С. 54-59.
5. Власенский А.А., Суханов Г.И., Супруновский А.В., Белозерова И.Г. Изменение работы тягового подвижного состава на участках железных дорог Восточного полигона // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2021. № 2(70). С. 154-161. DOI 10.26731/1813-9108.2021.2(70).154-161.
6. Тимченко В.С. Оценка пропускной и провозной способностей железнодорожной линии в условиях проведения ремонтных работ // Научно-методический электронный журнал "Концепт". 2016. № Т26. С. 971-975.
7. Липидус Б.М. Об основных направлениях научных исследований в интересах опережающего развития ОАО «РЖД» и их приоритизации // Железнодорожный транспорт. 2021. № 11. С. 22-29.
8. Маловецкая Е.В., Мозалевская А.К. Возможности применения моделей ARIMA при построении прогнозных значений вагонопотоков // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Т. 17. № 1. С. 33-41. DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-1-33-41.
9. Маловецкая Е.В., Мозалевская А.К. Возможности повышения эффективности перевозочного процесса на основе построения комплексных прогнозных моделей загрузки инфраструктуры // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Т. 17, № 7. С. 38-46. DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-7-38-46.

USING THE ANYLOGIC APPLICATION PACKAGE TO BUILD MODELS FOR ESTIMATING THE TIME OF TECHNOLOGICAL BREAKS FOR REPAIRING THE INFRASTRUCTURE OF TRANSPORTATION PROCESSES

Roman S. Bolshakov, Irkutsk State Transport University (IrGUPS), Irkutsk, Russia, Bolshakov_rs@mail.ru
Sergey K. Kargapoltsev, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract

The subject of the study is technological interruptions during repair work on railway transport. Technological "windows" represent an interval in the movement of trains on one of the tracks during double-track traffic and have different durations, depending on the planned repair and the number of track machines involved in its implementation. The purpose of the study is to assess the possibilities of obtaining optimal indicators of the operational performance of a railway line during technological breaks of various durations for the implementation of repair work on the stretch. The presented scientific research was carried out using mathematical methods for assessing the optimal duration of a technological break by correlating the parameters of financial costs and the values of quantitative and qualitative indicators of the operation of railway transport. The approaches used make it possible to obtain graphs of the dependence of the number of required technological windows on the time of their implementation, which includes the number of locomotives used, the duration of the limiting operation, and the duration of operation of track machines. The obtained analytical relationships can be considered the main results of the research. The capabilities of the applied approach can be used in drawing up a directive schedule for planning technological breaks on the railway network to generate optimal values of operational indicators, taking into account the creation of a database for the implementation of planned indicators based on an analysis of the factors influencing them. The presented results of numerical modeling make it possible to estimate the duration of technological breaks, taking into account the time to bring track machines into working condition, which forms the planned need for breaks in the movement of trains, affecting the reduction of planned values of operational indicators.

Keywords: technological breaks, railway line, required number of technological "gaps", operational indicators.

References

1. B.M. Lapidus, "Tasks of advanced development of Russian railways," *Railway transport*. 2023. No. 2, pp. 4-14.
2. N.A. Makhutov, B.M. Lapidus, M.M. Gadenin, E.Yu. Titov, "Tasks and prospects for the development of scientific research within the framework of cooperation between JSC Russian Railways and the Russian Academy of Sciences," *Railway transport*. 2023. No. 7, pp. 6-11.
3. A.B. Kabanov, A.T. Osminin, "Scientific approach to planning railway freight transportation," *Railway transport*. 2022. No. 8, pp. 12-16.
4. A.V. Dmitrenko, I.A. Selyunin, "Assessing the influence of traffic volumes on the efficiency of passing accelerated freight trains on double-track main railway lines," *Bulletin of the Siberian State Transport University*. 2020. No. 1(52), pp. 54-59.
5. A.A. Vlasensky, G.I. Sukhanov, A.V. Suprunovsky, I.G. Belozerovala, "Changes in the operation of traction rolling stock on railway sections of the Eastern range," *Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2021. No. 2(70), pp. 154-161. DOI 10.26731/1813-9108.2021.2
6. V.S. Timchenko, "Assessment of the throughput and carrying capacity of a railway line in the conditions of repair work," *Scientific and methodological electronic journal "Concept"*. 2016. No. T26, pp. 971-975.
7. B.M. Lapidus, "On the main directions of scientific research in the interests of rapid development of JSC Russian Railways and their prioritization," *Railway Transport*. 2021. No. 11, pp. 22-29.
8. E.V. Malovetskaya, A.K. Mozalevskaya, "Possibilities of using ARIMA models in constructing forecast values of car flows," *T-Comm*. 2023. Vol. 17, No. 1, pp. 33-41. DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-1-33-41
9. E.V. Malovetskaya, A.K. Mozalevskaya, "Possibilities for increasing the efficiency of the transportation process based on the construction of complex forecast models of infrastructure loading," *T-Comm*. 2023. Vol. 17, No. 7, pp. 38-46. DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-7-38-46
10. G.I. Sukhanov, R.S. Bolshakov, A.V. Suprunovsky, "Modern aspects of planning technological breaks," *Transport of the Asia-Pacific Region*. 2023. No. 4(37), pp. 101-108.
11. E.A. Sotnikov, K.P. Shenfeld, "Unevenness of freight transportation in modern conditions and its impact on the required throughput of sections," *Vestnik VNIIZhT*. 2011. No. 5, pp. 3-9. ISSN - 2223-9731
12. A.T. Osminin, "On the development of an intelligent control system for the transportation process," *Railway transport*. 2021. No. 3, pp. 17-27.
13. V.V. Yakhimovich, A.V. Dmitrenko, G.I. Sukhanov, A.N. Rozhkov, "Options for organizing the passage of trains during the overhaul of technical devices on double-track lines," *Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2012. No. 3(35), pp. 176-183.
14. E.V. Durnev, "Reducing unproductive time costs," *Path and track management*. 2017. No. 2, pp. 16-20.
15. A.V. Suprunovsky, R.S. Bolshakov, "On the issue of building simulation models of transportation processes in the ANYLOGIC software environment," *T-Comm*. 2022. Vol. 16, No. 3, pp. 31-35. DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-3-31-35

Information about authors:

Roman S. Bolshakov, Irkutsk State Transport University (IrGUPS), Associate Professor of the department of "Control of operational works", Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Irkutsk, Russia

Sergey K. Kargapoltsev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia