

Интеллектуальная система построения графика работы машинистов метрополитена

An intelligent system for constructing metro train driver working schedules

Маркевич А.В.^{1*}, Сидоренко В.Г.²

Markevich A.V.^{1*}, Sidorenko V.G.²

¹ТЕРРАЛИНК ДЕВЕЛОПМЕНТ, Москва, Российская Федерация, ²РУТ(МИИТ), Москва, Российская Федерация,

¹TERRALINK DEVELOPMENT, Moscow, Russian Federation, ²RUT(MIIT), Moscow, Russian Federation

*vasjuk.a@mail.ru



Маркевич А.В.



Сидоренко В.Г.

Резюме. Цель. Целью работы является апробация и анализ результатов применения интеллектуальной системы построения графика работы машинистов метрополитена, направленной на автоматизированное решение задач повышения эффективности использования рабочего времени машинистов электроподвижного состава метрополитена. Под эффективностью в данном случае в зависимости от решаемой задачи и выбранного критерия понимается сокращение числа машинистов, задействованных в реализации заданного планового графика движения поездов, повышение равномерности чередования периодов труда и отдыха машинистов, а также сокращение длительности простоев в работе внутри рабочих смен. **Методы.** В исследовании, представленном в статье, используются теория графов, рекурсивные и эвристические алгоритмы. **Результаты.** Разработаны рекурсивные алгоритмы формирования графика работы основных машинистов метрополитена и подменных машинистов во время проведения обеденных перерывов основных машинистов. Разработанные алгоритмы используются в интеллектуальной системе планирования графика работы машинистов метрополитена. Алгоритм формирования графика работы основных машинистов включает в себя назначение машинистов на предварительно сформированное из графика оборота электроподвижного состава множество рабочих участков для обеспечения движения согласно плановому графику движения пассажирских поездов метрополитена. Алгоритм формирования графика работы подменных машинистов включает в себя планирование рабочего времени подменных машинистов, исходя из возможности проведения обеденных перерывов для основных машинистов. **Заключение.** В статье представлены результаты апробации разработанной интеллектуальной системы планирования графика работы машинистов для условий Московского метрополитена на примере депо «Замоскворецкое» Замоскворецкой линии, депо «Выхино» Таганско-Краснопресненской линии, а также результаты адаптации этой системы для условий Московского Центрального Кольца. Представлен сравнительный анализ графика работы машинистов: реального и полученного с использованием разработанной интеллектуальной системы. Применение созданной системы может позволить повысить эффективность использования рабочего времени машинистов электроподвижного состава метрополитена на величину, достигающую 28%.

Abstract. Aim. The paper aims to tests and analyse the results of application of an intelligent system for constructing metro train driver working schedules that is intended for automatically improving the efficiency of utilisation of the working time of metro train drivers. In this case, depending on the task at hand and the chosen criterion, efficiency is understood as a reduction of the number of drivers involved in the implementation of the specified standard train schedule, improved uniformity of alternation of driver work and rest periods, as well as reduction of the duration of down time within work shifts. **Methods.** The study presented in the paper uses the graph theory, recursive and heuristic algorithms. **Results.** The authors have developed recursive algorithms for preparing work schedules for main metro train drivers and substitute drivers that operate during main drivers' lunch breaks. The developed algorithms are used in the intelligent system for metro train driver work schedule planning. The algorithm for generating main driver work schedule includes driver allocation to a number of work lines preliminarily defined based on the rolling stock operation schedule for the purpose of ensuring traffic according to the planned metro train schedule. The algorithm for generating substitute driver work schedule involves substitute driver work time planning based on the possibility of arranging lunch breaks for main drivers. **Conclusion.** The paper presents the results of a trial of the developed intelligent system for train driver work planning for the Moscow Metro using the example of the Zamoskvoretskoye Depot of the Zamoskvoretskaya Line, the Vkhino Depot of the Tagansko-Krasnopresnenskaya Line, as well as the results of the system's adaptation to

the Moscow Central Circle. It also presents a comparative analysis of driver work schedules, i.e., the actual one and one obtained using the developed intelligent system. The application of the developed system may enable as much as a 28% improvement of the efficiency of metro train drivers' work hour use.

Ключевые слова: интеллектуальная система, автоматизированное управление, программное обеспечение, машинист, локомотивная бригада, метрополитен.

Keywords: intelligent system, automated management, software, train driver, train crew, metro.

Для цитирования: Маркевич А.В., Сидоренко В.Г. Интеллектуальная система построения графика работы машинистов метрополитена // Надежность. 2023. №3. С. 63-72. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2023-23-3-63-72>

For citation: Markevich A.V, Sidorenko V.G. An intelligent system for constructing metro train driver working schedules. *Dependability* 2023;3:63-72. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2023-23-3-63-72>

Поступила: 20.04.2023 / **После доработки:** 27.06.2023 / **К печати:** 15.09.2023

Received on: 20.04.2023 / **Revised on:** 27.06.2023 / **For printing:** 15.09.2023

Введение

На железных дорогах нарушение пропорции между периодами труда и отдыха [1] приводит к значительному увеличению частоты нарушений в работе машинистов (рис. 1). Соблюдение норм работы машинистов, в том числе метрополитена, особенно чувствительно к возникновению нарушений, поскольку условия их труда отнесены к вредным условиям труда. Пренебрежение правилами может сказываться на здоровье и производительности сотрудников [2, 3].

Согласно статистике (рис. 1) существует связь графика работы (ГР) машиниста и качества его работы:

- число грубых нарушений возрастает как при работе с низкой продолжительностью отдыха за период, так и при привлечении сотрудников на незначительные периоды времени работы (рис. 1,а);

- частота совершения нарушений незначительно колеблется при четырехразовом привлечении сотрудников к работе в ночные периоды две смены подряд и значительно увеличивается после пятой итерации (рис. 1,б).

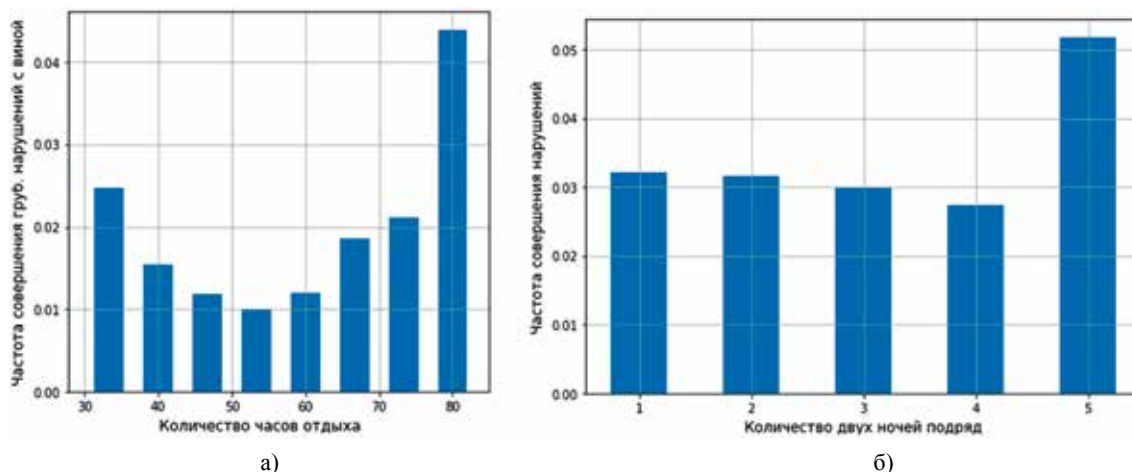


Рис. 1. Зависимость частоты совершения грубых нарушений машинистом в зависимости от соблюдения режима труда и отдыха

В статье приводятся алгоритмы формирования ГР основных и подменных ММ. Методика повышения эффективности использования рабочего времени маневровых машинистов (работа маневровых машинистов похожа на соответствующую методику для подменных ММ, поскольку процесс их работы строго регламентирован ПГД ППМ), а именно длительностью оборотов в различные промежутки времени. Под эффективностью в данном случае понимается сокращение числа машинистов, задействованных в реализации заданного ПГД ППМ и сокращение длительности простоев в работе внутри рабочих смен.

При реализации ИСП ГР ММ обязательные требования к условиям труда и отдыха ММ согласно нормативным документам использовались в качестве ограничений и параметров модели [10].

Методы и используемые данные

Решение задачи формирования ГР основных ММ проводилось в два этапа:

- первичное деление ГО ЭПС на рабочие участки (РУ), из которых формируются РС с учетом перерывов в работе, времени приемки и сдачи ЭПС;

- распределение времени работы ММ по графику РУ.

Распределение ГО ЭПС по РУ проводилось со следующими особенностями:

- равномерное разделение ГО таким образом, чтобы продолжительность РУ не превышала фиксированное значение (один из параметров модели, не включающий время приемки / сдачи ЭПС);

- «укорачивание» первого за день РУ проводилось в случае, когда между его началом и окончанием последнего РУ накануне существует такой промежуток времени (в рассматриваемых примерах 3 часа), который допускает теоретическую возможность связи этих РУ и выход одного ММ на оба РУ [10].

Для распределения ММ по графику РУ и решения задачи повышения эффективности формирования ГР основных ММ с точки зрения сокращения числа задействованных ММ и повышения равномерности чередования периодов труда и отдыха разработан

рекурсивный алгоритм [10]. Согласно алгоритму реализуется направленный выбор элементов множества ММ по принципу: при переходе к следующему РУ первым рассматривается тот ММ, который за последнюю неделю сформированного ГР привлекался к работе меньше остальных.

Компактность нагрузки персонала достигается путем минимизации среднеквадратичного отклонения при распределении основных ММ по РУ K :

$$K = \sqrt{\frac{1}{I_{MW} - 1} \sum_{i=1}^{I_{MW}} (RS_i - \overline{RS})^2}, \quad (1)$$

где RS_i – продолжительность i -й рабочей смены (РС) ММ; $\overline{RS}$ – средняя продолжительность РС ММ за период; I_{MW} – число задействованных основных ММ.

Результаты

При решении задачи использовалось несколько параметров разбиения ГО на РУ (рис. 2). При первичном разбиении ГО на РУ с длительностью от 4-х до 5-и часов для депо «Замоскворецкое» Замоскворецкой линии (ЗЛ) и 6-и часов для депо «Выхино» Таганско-Краснопресненской линии (ТКЛ) Московского метрополитена при применении алгоритма для реализации работы одного состава в течение 39-и (ЗЛ) и 37-и (ТКЛ) дней работы требовалось привлечение 5-и основных ММ. При увеличении шага первичного разбиения РУ до 7 и 5,5 часов, соответственно, потребовалось привлечение уже 4-х основных ММ. Далее приведены результаты для продолжительностей РУ, равных 7 и 5,5 часам, до их «укорачивания» исходя из принципа минимизации числа привлекаемых ММ.

На рис. 3 приведены результаты решения задачи формирования ГР основных ММ с минимальным из рассмотренных значений критерия качества (1), полученные с использованием ИСП ГР ММ. Решения приведены для депо «Замоскворецкое» ЗЛ и депо «Выхино» ТКЛ. По оси ординат определяется режим работы ММ: движению ЭПС соответствует уровень 1; приемке ЭПС – 1,5; сдаче ЭПС – 0,5.

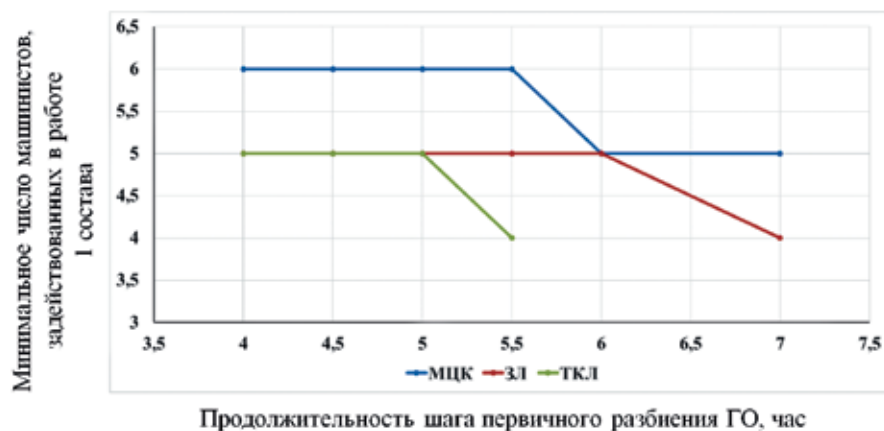


Рис. 2. Зависимость числа задействованных машинистов от продолжительности РУ для первых 1000 рассмотренных решений

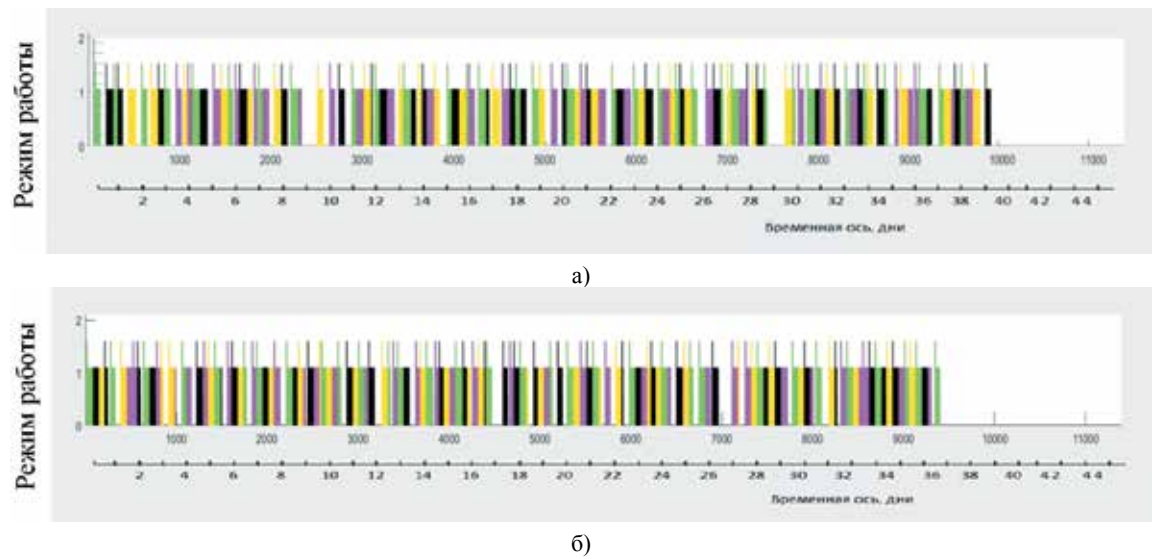


Рис. 3. Полученные с использованием ИСП ГР ММ результаты решения задачи формирования ГР основных ММ для: а) Депо «Замоскворецкое» ЗЛ; б) Депо «Выхино» ТКЛ

Условные обозначения: зеленым цветом обозначены интервалы работы основного ММ №1; черным – основной ММ №2; желтым – основной ММ №3; розовым – основной ММ №4

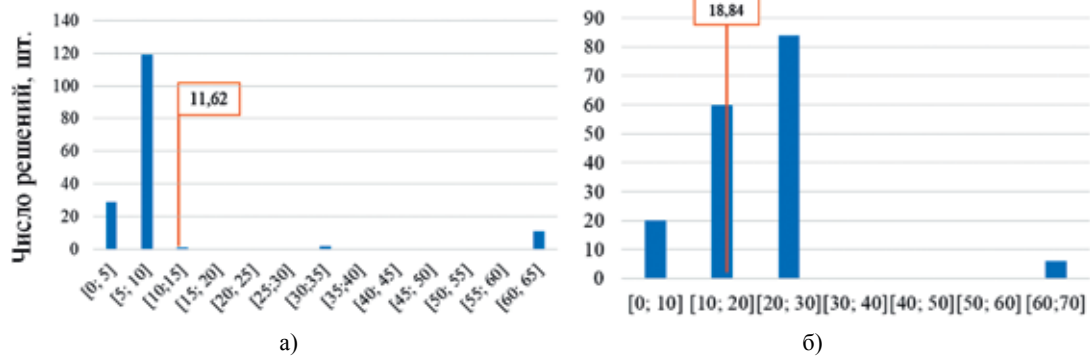


Рис. 4. Столбчатые диаграммы распределения значений критерия (1) по множеству решений: а) Депо «Замоскворецкое» ЗЛ; б) Депо «Выхино» ТКЛ, оранжевой линией указано среднее значение критерия

Анализ полученных результатов решения задачи распределения основных ММ по графику РУ приведен в табл. 1 и на рис. 4. По мере работы алгоритма для сокращения времени, в рамках которого могут быть получены удовлетворительные решения, отсеивались решения, в реализации которых участвовали 6-ь и более ММ.

На рис. 4 приведено распределение значений средне-квадратичного отклонения при распределении основных ММ по РУ для множества решений.

Решение для полного ГО ЭПС формируется путем смещения решения для первого маршрута на одни сутки влево и тиражирования решения.

На рис. 5 показано перемещение составов между маршрутами при реализации ПГД ППМ в течение 39-и дней для депо «Замоскворецкое» ЗЛ. Каждый следующий маршрут повторяет предыдущий с учетом сдвига на один день, исключая субботу и воскресенье. Для выходных дней ГР ММ формируется аналогично, как для рабочих, только по ГО выходных дней.

Табл. 1. Анализ рассмотренных решений задачи автоматизации работы основных ММ

Линия	Число задействованных ММ	Число рассмотренных решений	Число отверженных решений	Период учета	Худшее из рассмотренных значений среднеквадратичного отклонения за весь период учета, час	Лучшее из рассмотренных значений среднеквадратичного отклонения за весь период учета, час
ЗЛ	4-5	3199	162	39	63,46	1,12
	≥ 6		35		Решения отсеяны из-за большого числа задействованных ММ	
ТКЛ	4-5	5201	170	37	60,64	1,34
	≥ 6		151		Решения отсеяны из-за большого числа задействованных ММ	

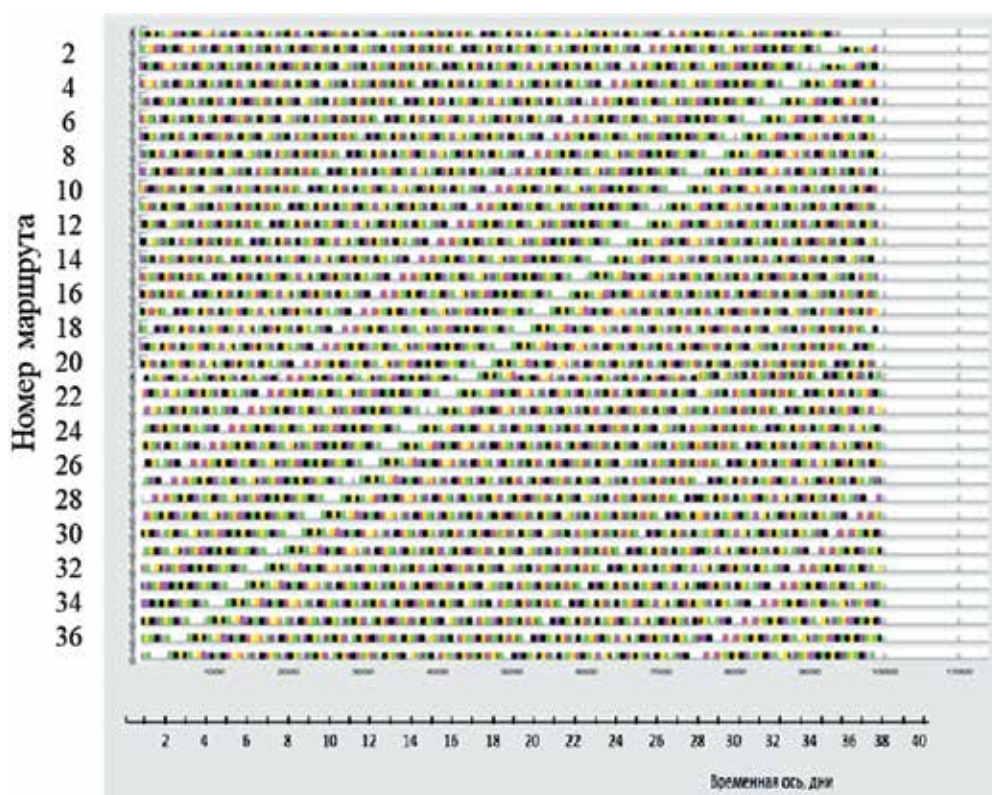


Рис. 5. Полученные с использованием ИСП ГР ММ результаты решения задачи распределения времени работы ММ для депо «Выхино» ТКЛ.

Условные обозначения: зеленым цветом обозначены интервалы работы основного ММ №1; черным – основной ММ №2; желтым – основной ММ №3; розовым – основной ММ №4

Табл. 2. Сравнение расчетного и реального примеров ГР ММ, ЗЛ

Линия	Условные обозначения	Период учета, дни	Число проработанных РУ	Суммарная продолжительность РС, час	Продолжительность работы в неделю, час
ЗЛ	ММ №1	26	18	101,6	27,4
	ММ №2		16	100,7	27,1
	ММ №3		15	104,0	28,0
	ММ №4		15	98,6	26,6
	Сумма		64	404,9	109,0
	ММ №1	26	16	111	30,03
	ММ №2		15	111	29,94
	ММ №3		19	133	35,95
	ММ №4		12	78	21,1
	Сумма		62	433	117

Табл. 3. Сравнение расчетного и реального примеров ГР ММ, ТКЛ

Линия	Обозначение	Период учета, дни	Число отработанных РУ	Суммарная продолжительность РС, час	Продолжительность работы в неделю, час
ТКЛ	ММ №1	30	25	119	27,77
	ММ №2		29	124,1	28,95
	Сумма ММ №1 и №2		54	243	56,8
	ММ №3		27	122,8	28,65
	ММ №4		29	124,8	29,11
	Сумма ММ №3 и №4		56	247,6	57,8
	ММ №1	30	14	104	24,27
	ММ №2		24	147,8	34,5
	Сумма ММ №1 и №2		38	252	58

Табл. 4. Условия работы. Особенности работы и различия для ММ и машинистов МЦК

п/п	Лингвистическое описание условия для ММ	Лингвистическое описание расхождения условия для машинистов МЦК
1	Допускается не более 36 рабочих часов (a_1) в неделю	Производится учет за месяц (136 часов) или около 32 часов в неделю
2	Рабочих часов в день: $\leq 8,5$ (a_6) или ≤ 12 (a_7) в 2 смены (при этом $8 + < 4$) (a_8, a_9)	Продолжительность смены 12 часов, но после 6-10,5 часов работы в качестве основного машиниста МЦК переходит к задачам подменного и маневрового машиниста.
3	Нельзя устанавливать более 2-х смен подряд, охватывающих промежутков [$a_0=00:00$; $a_{10}=5:00$]	$[a_0=22:00$; $a_{10}=7:00]$
4	Отдых сегодня $\geq 2 \times$ Работа вчера ($a_{15}=2$)	После ночного отдыха в пункте оборота не более 10 часов, из них не более 3 кругов по МЦК.
5	При работе ночью в 2 смены перерыв между ними должен быть $\geq 2,5$ часа (a_{21}). При учете ночные смены относятся к тем суткам, когда они были начаты.	Отдых в пункте оборота не менее $\frac{1}{2}$ отработанного времени, но не менее 3 часов.

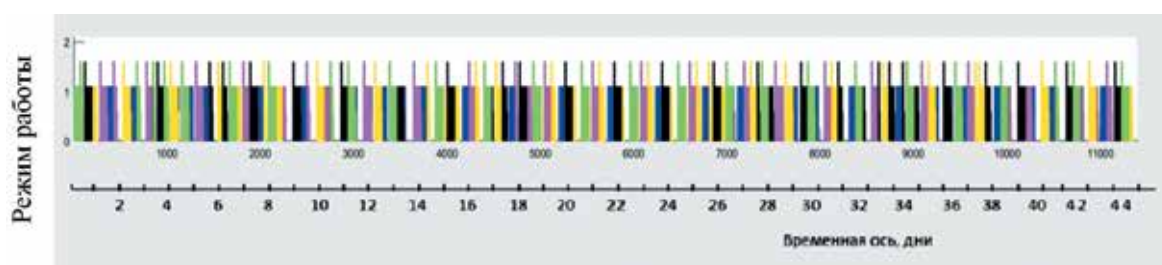


Рис. 6. Полученные с использованием ИСП ГР ММ результаты решения задачи поиска лучшего из рассмотренных ГР основных машинистов МЦК

Условные обозначения аналогичны рис. 3, синим цветом обозначены интервалы работы основного машиниста №5

Сравнение реально действующего и расчетного ГР основных ММ

Для определения качества созданной модели проведено сравнение реально действующего и расчетного ГР основных ММ ЗЛ и ТКЛ (рис. 3, табл. 2, 3).

Согласно расписанию нарядов ЗЛ к обеспечению работы 39 маршрутов депо «Замоскворецкое» привлекается 240 ММ. При этом не существует четкого соответствия между ММ и ЭПС, что не характерно для большинства линий Московского метрополитена. Согласно данным ТКЛ 37 маршрутов депо «Выхино» обслуживает около 200 ММ. При этом по данным ТКЛ сотрудники часто перерабатывают (зафиксировано за год в среднем 50 часов переработки у каждого сотрудника). Согласно расчетной модели для ЗЛ в рамках 39 маршрутов депо «Замоскворецкое» требуется привлечь 156 ММ, а для ТКЛ для обеспечения 37 маршрутов – 148 ММ.

Адаптация ИСП ГР ММ для машинистов Московского Центрального Кольца

Для применения разработанного ИСП ГР ММ в условиях Московского Центрального Кольца (МЦК) проанализированы особенности работы машинистов МЦК. Расхождения в особенностях работы машинистов МЦК и ММ [10] приведены в табл. 4.

В ходе апробации выявленные особенности учитывались путем изменения соответствующих настроек ИСП ГР ММ. На рис. 6 приведены полученные с использованием ИСП ГР ММ результаты решения задачи распределения основных машинистов МЦК по РС с минимальным значением критерия качества (1) для МЦК. При решении использовались 6-и часовые РУ (рис. 2).

На рис. 7 приведено распределение значений среднеквадратичного отклонения при назначении основных машинистов МЦК по РУ для множества решений, в реализации которых задействовано 5 машинистов.



Рис. 7. Столбчатая диаграмма распределения значений критерия (1) по множеству решений, в реализации которых задействовано 5-ь машинистов МЦК, оранжевой линией указано среднее значение критерия

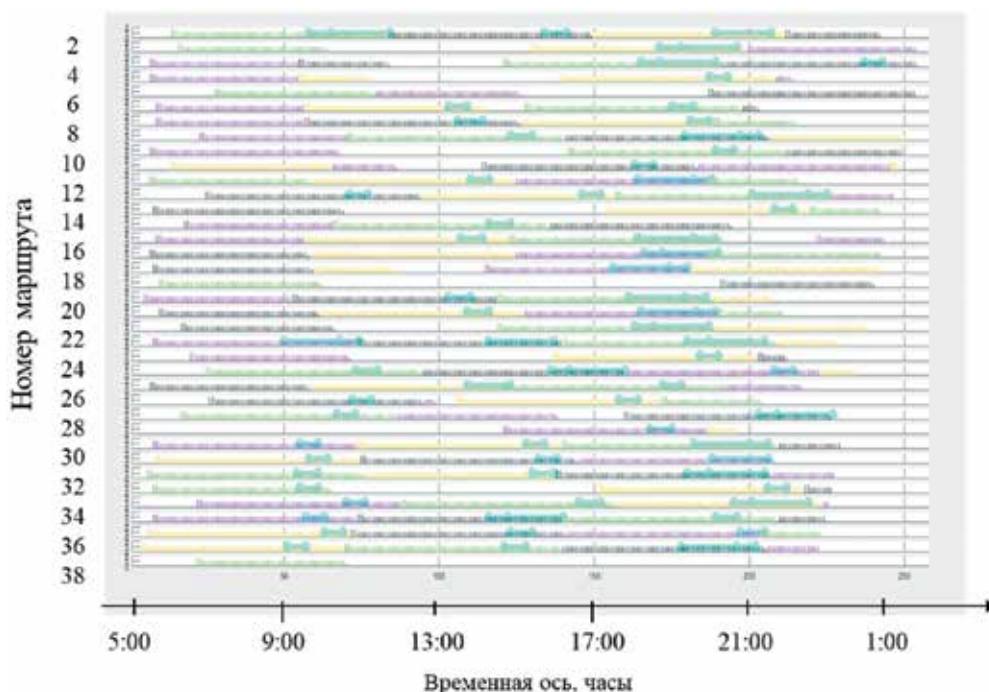


Рис. 8. График работы основных ММ ТКЛ с возможными ОП, сформированный в ИСП ГР ММ
Условные обозначения аналогичны рис. 3, голубым цветом указаны возможности для осуществления подмен, границы возможности обозначены более длинными линиями

Используемый в исследованиях ГО ЭПС на МЦК обслуживает 164 машинистов. В решениях, полученных в помощью ИСП ГР ММ, задействовано 5 машинистов для 44 маршрутов, то есть 220 машинистов для периода планирования в 44 дня (рис. 5).

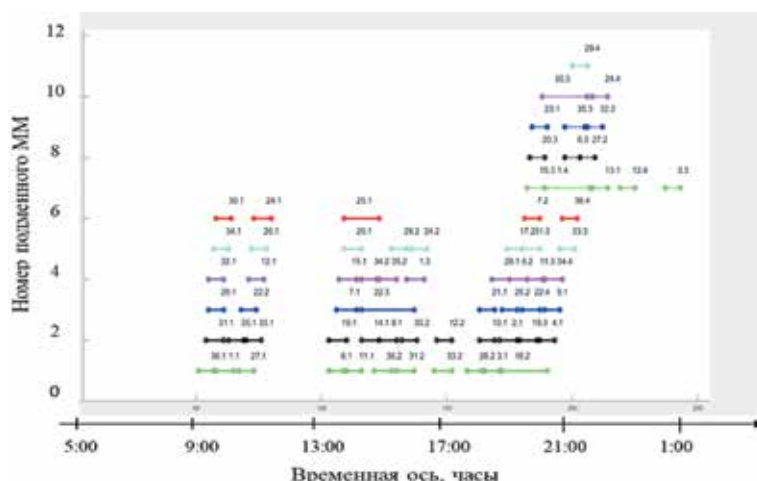
Решение задачи формирования ГР подменных ММ проводилось с применением алгоритма планирования рабочего времени подменных ММ, исходя из возможностей проведения обеденных перерывов (ОП) основных ММ, описанного в [10].

В соответствии с требованиями к режиму труда и отдыха основных ММ должны быть предусмотрены ОП в их работе [8]. При формировании ГР подменных ММ для линии выбирается станция метро, оборудованная

под проведение ОП для основных ММ. После чего производится анализ ПГД ППМ на предмет выявления возможности проведения ОП, а именно интервалов времени между двумя прибытиями одного и того же маршрута на оборудованную под проведение ОП станцию, на которой основные ММ могут смениться подменными ММ.

Часть промежутков не подходит для проведения ОП по следующим причинам:

- промежуток не удовлетворяет условиям работы основных ММ;
- начало промежутка попадает на конец РУ и отработать осталось менее заданного времени (20 минут), в этом случае проведение ОП считается нецелесообразным;



Время работы, час	Время простоя, час
0,5	0
2	0,16
1,66	0,66
1,5	0,66
3,58	1,5
3,25	8,75
4,2	7,8
5,5	6,25
5,5	6,16
6,5	5
6,8	4,8

Рис. 9. Полученные с использованием ИСП ГР ММ результаты решения задачи распределения времени работы подменных ММ с минимальным критерием качества (2) для депо «Выхино» ТКЛ

Табл. 5. Анализ рассмотренных решений задачи формирования ГР подменных ММ и машинистов МЦК

Станция для проведения ОП	Число задействованных маршрутов, шт.	Число задействованных подменных машинистов, чел.	Число РУ для подмен, шт	Число завершённых решений, шт.	Наибольшее значение среднего времени простоя одного машиниста за сутки, час	Лучшие значения показателей эффективности, час		
						Среднее время простоя одного машиниста за сутки	Среднее время работы одного машиниста за сутки	Средняя продолжительность РС одного машиниста за сутки
Автозаводская (ЗЛ)	39	11	43	70	3,8	2,1	4,2	6,3
Кузьминки (ТКЛ)	37	11	68	55	4,7	3,8	3,7	7,5
Андроновка (МЦК)	44	25	98	55	3,9	2,7	5,7	8,4

Табл. 6. Сравнение результатов, полученных с помощью модели и реального графика нарядов сотрудников

Линия		Число основных машинистов в депо	Число подменных машинистов в депо	Суммарное число основных и подменных машинистов в депо	Число РС при переработке машинистов	Относительное сокращение числа задействованных машинистов
ЗМ	Модель	156	15	171	0	28%
	Пример	240			1	
ТКЛ	Модель	148	16	164	0	18%
	Пример	200			2	
МЦК	Модель	220	47	267	0	0%
	Пример	264			1	

– продолжительность РУ (менее 4,5 часов) позволяет не проводить ОП;

– ОП для данного основного ММ уже предоставлялся в текущих сутках.

Для решения задачи формируется дерево возможностей для проведения ОП. Вершины описывают промежутки ОП с указанием времени их начала и окончания, принадлежности к определенному маршруту, номера подменного ММ, который реализует данный ОП [10]. При формировании ГР подменных ММ производится сравнение решений, описанных каждым из путей дерева, и выбирается лучшее согласно следующей формуле:

$$\Delta D = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{I-1} \Delta d_{ij} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где ΔD – сумма длительностей всех простоев между привлечением к работе подменных ММ в период ОП основных ММ; i – номер одного из I промежутков; j – номер одного из J ММ; Δd_{ij} – промежутки между привлечением ММ (в рамках суток).

На рис. 8 приведен ГР основных ММ ТКЛ с указанными возможностями для ОП (голубым цветом выделены интервалы времени между моментами прибытия маршрутов на станцию Кузьминки по I и II главным путям ТКЛ, на которой возможно проведение ОП). Для сотрудников, работающих в ночную смену, принцип назначения и продолжительность ОП такая же, как и при работе днем [8].

На рис. 9 приведено решение задачи формирования ГР подменных ММ для 37 маршрутов ТКЛ с минимальным из рассмотренных значений критерия качества (2). В условном обозначении каждого из элементов полученного ГР в качестве первой цифры указан номер маршрута, второй – порядковый номер ОП в рамках этого маршрута. Время работы подменных ММ ограничивалось 12-и часами в сутки. При выборе решений учитывалось общее число привлекаемых подменных ММ.

В табл. 5 приведена статистика решений для ЗЛ, ТКЛ и МЦК. Станция для подмены выбирается исходя из ГО ЭПС и времени хода до станции. Используя предложенную модель, можно сравнивать временные затраты на проведение ОП для различных станций линии.

Из табл. 5 видно, что сумма среднего времени простоя и работы каждого машиниста не превышает длительности 12-и часовой РС с учетом времени для проведения ОП. Для оценки числа подменных машинистов, которых необходимо привлечь для реализации ПГД ППМ, учитывается ограничение длительности их работы не более 32-36 рабочих часов в неделю (табл. 4, условие 1). Исходя из этого условия рассчитывается число подменных ММ в депо (табл. 6).

В табл. 6 приводится сравнение общего числа основных и подменных машинистов для данных, полученных с помощью ИСП ГР ММ и реальных данных по загрузке персонала для ЗЛ, ТКЛ и МЦК. Произведен расчёт повышения эффективности использования рабочего времени машинистов с помощью ИСП ГР ММ.

Обсуждение

В приведенных примерах частота пересечения станции, выбранной для проведения ОП, позволяет обеспечить основных ММ перерывами в работе без дополнительных затрат на дорогу к месту нахождения вверенного ему ЭПС. В случае, если время полного оборота на линии не позволяет использовать одну станцию для смены основного и подменного ММ, к времени ОП основного ММ может добавиться время его движения навстречу ЭПС после ОП. При этом возможно использование текущего алгоритма формирования расписания ГР подменных ММ, где в качестве времени окончания элементов перечня потенциальных ОП используется время пересечения нитки графика заданного маршрута с заданной промежуточной станцией, выбранной для смены машинистов. Продолжительность промежутка подмены при этом увеличивается на длительность дороги от станции проведения ОП до места встречи основного ММ с подменным ММ.

Заключение

Основные результаты статьи:

- представленные алгоритмы формирования ГР основных и подменных машинистов для Московского метрополитена и МЦК положены в основу создания ИСП ГР ММ;
- апробация разработанной ИСП ГР ММ продемонстрировала возможность ее использования не только для условий Московского метрополитена, но и МЦК;
- применение созданной ИСП ГР ММ позволит повысить эффективность использования рабочего времени машинистов при построении ГР машинистов на величину, достигающую 28%, за счет автоматизации процесса перебора решений с заданными начальными требованиями и параметрами модели.

Внедрение ИСП ГР ММ повысит производительность труда работников, задействованных в планировании работы локомотивных бригад, позволит формализовать процесса принятия решений при планировании работы локомотивных бригад и оценке результатов планирования, что окажет положительное влияние на качество и безопасность движения, понизит влияние человеческого фактора на процесс планирования работы локомотивных бригад, ускорит процесс обмена информацией между средствами цифровизации ОАО «РЖД», уменьшит количество ошибок, возникающих при передаче информации.

В качестве перспектив развития представленного исследования планируется:

- повышение уровня автоматизации этапа выбора шага разбиения ГО на РУ;
- повышение качества работы моделей, в частности апробация разработанной ИСП ГР ММ на других линиях метрополитена и возможное расширение параметров модели в виду локальных особенностей организации управления движением ЭПС;

– построение совместного ГР основных, подменных и маневровых ММ, при построении которого будет предполагаться, что один машинист может попеременно в течение одной РС выполнять функции более, чем одного типа;

– масштабирование полученного положительного эффекта на другие участки железнодорожных линий.

Библиографический список

1. Кулагин М.А., Маркевич А.В., Сидоренко В.Г. Влияние человеческого фактора на безопасность движения поездов // Труды международной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем» – XXVII. М.: ИПУ РАН. 2019. С. 265-270.
2. Финоченко Т.А., Переверзев И.Г., Баланова М.В. Физические факторы, воздействующие на надежность работы машинистов кранов на железнодорожном ходу // Надежность. 2019. Т. 19. № 1(68). С. 36-39.
3. Алиев О.Т. Воздействие вредных и опасных факторов условий труда на машинистов локомотивов // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2015. №4 (45). С. 21-28.
4. Баранов Л.А., Сидоренко В.Г., Балакина Е.П. и др. Интеллектуальное централизованное управление движением внеуличного городского железнодорожного транспорта в условиях интенсивного движения // Надежность. 2021. Т. 21. № 2. С. 17-23. DOI: 10.21683/1729-2646-2021-21-2-17-23
5. Свижевский В.А., Стовбур В.А. Современные проблемы гигиенического нормирования физических факторов, воздействующих на персонал и пассажиров метрополитена // Acta Biomedica Scientifica. 2011. № 1-1. С. 273.
6. Гафаров Е.Р., Лазарев А.А. Математические методы оптимизации при составлении учебного расписания // Новые информационные технологии в образовании: сборник научных трудов. М.: IC-Паблишинг, 2013. С. 51.
7. Клеванский Н.Н., Антипов М.А. Формирование транспортных расписаний // Образовательные ресурсы и технологии. 2016. № 4 (16). С. 71–91.
8. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 22.11.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 30.11.2021): принят Гос. Думой 21 дек. 2001 г.: одобрен Советом Федерации 26 дек. 2001 г. [Электронный ресурс] // Законы, кодексы, нормативные и судебные акты : сайт. Режим доступа: <https://legalacts.ru/kodeks/TK-RF/>
9. Баранов Л.А., Сафронов А.И., Сидоренко В.Г. Планирование движения поездов в интеллектуальных транспортных системах // Надежность. 2022. Т. 22. № 3. С. 35-43. DOI: 10.21683/1729-2646-2022-22-3-35-43
10. Markevich A.V., Sidorenko V.G. Automation of Scheduling for Drivers of the Subway Rolling Stock // 2021 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). IEEE, 2021. Pp. 129–138.

References

1. Kulagin M.A., Markevich A.V., Sidorenko V.G. [The effect of the human factor on the safety of train traffic]. In: [Proceedings of the XXVII International Conference Matters of Safety Management of Complex Systems]. Moscow: ICS RAS; 2019. Pp. 265-270. (in Russ.)
2. Finochenko T.A., Pereverzev I.G., Balanova M.V. Physical factors affecting the reliability of rail crane operators. *Dependability* 2019;19(1):36-39.
3. Aliev O.T. Impact of harmful and dangerous factors of working conditions on locomotive drivers. *Proceedings of Petersburg Transport University* 2015;4(45):21-28. (in Russ.)
4. Baranov L.A., Sidorenko V.G., Balakina E.P. et al. Intelligent centralized traffic management of a rapid transit system under heavy traffic. *Dependability* 2021;21(2):17-23. DOI: 10.21683/1729-2646-2021-21-2-17-23.
5. Svizhevskiy V.A., Stovbur N.N. Modern problems of hygienic standardization of physical factors, influencing staff and passengers in subway. *Acta Biomedica Scientifica* 2011;1(1):273-277. (in Russ.)
6. Gafarov E.R., Lazarev A.A. [Mathematical optimisation methods in the process of curriculum generation]. In: [New information technologies in education: collected papers]. Moscow: IC Publishing; 2013. (in Russ.)
7. Klevansky N.N., Antipov M.A. Transport timetabling problem. *Education Resources and Technologies* 2016;4(16):71-91. (in Russ.)
8. Labour Code of the Russian Federation dated 30.12.2001 N 197-FZ (as amended on 22.11.2021) (version in effect since 30.11.2021): adopted by the State Duma on December 21, 2001: approved by the Federation Council on December 26, 2001. (accessed 04.07.2023). Available at: <https://legalacts.ru/kodeks/TK-RF/>.
9. Baranov L.A., Safronov A.I., Sidorenko V.G. Train traffic planning in intelligent transportation systems. *Dependability* 2022;22(3):35-43. DOI: 10.21683/1729-2646-2022-22-3-35-43. (in Russ.)
10. Markevich A.V., Sidorenko V.G. Automation of Scheduling for Drivers of the Subway Rolling Stock. In: Proceedings of the IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS); 2021. Pp. 129-138.

Сведения об авторах

Маркевич Агата Владимировна – ведущий консультант дирекции ERP Решений ООО «ТЕРРАЛИНК ДЕВЕЛОПМЕНТ», 2-й Южнопортовый пр-д, д. 33 стр. 1, Москва, Российская Федерация, 115088, e-mail: vlasjuk.a@mail.ru

Сидоренко Валентина Геннадьевна – доктор технических наук; профессор; профессор кафедры «Управление и защита информации» РУТ (МИИТ), ул. Образцова, д.9, стр.9, Москва, Российская Федерация, 127994, e-mail: valenfalk@mail.ru

About the authors

Agata V. Markevich, Lead Adviser, ERP Solutions Directorate, TERRALINK DEVELOPMENT, 33, bldg 1 2-nd Yuzhnoportovy proyezd, Moscow, 115088, Russian Federation, e-mail: vlasjuk.a@mail.ru.

Valentina G. Sidorenko, Doctor of Engineering, Professor, Chair Professor, Department of Management and Protection of Information, RUT (MIIT), 9b9 Obrazcova St., Moscow, 127994, Russian Federation, e-mail: valenfalk@mail.ru.

Вклад авторов в статью

Маркевич А.В. Выполнен анализ литературы по теме исследования. Разработаны, реализованы в ИСП ГР ММ и апробированы для реальных условий городских рельсовых транспортных систем рекурсивные алгоритмы формирования ГР основных ММ и подменных ММ во время проведения ОП основным ММ, направленные на сокращение числа машинистов, задействованных в реализации заданного планового графика движения поездов, повышение равномерности чередования периодов труда и отдыха машинистов, а также сокращение длительности простоев в работе внутри рабочих смен.

Сидоренко В.Г. Проанализированы результаты апробация разработанного ИСП ГР ММ, даны рекомендации по его применению.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.