

Оценка экономической эффективности профилактических мероприятий по сокращению числа нарушений при управлении подвижным составом

Evaluating the economic efficiency of preventive measures aimed at reducing the number of train control violations

Кулагин М.А.^{1, 2*}, Сидоренко В.Г.^{1, 2}
Kulagin M.A.^{1, 2*}, Sidorenko V.G.^{1, 2}

¹РУТ(МИИТ), Москва, Российская Федерация, ²Научно-технический университет «Сириус», Олимпийский пр., 1, 354340, Сочи, Россия

¹RUT(MIIT), Moscow, Russian Federation, ²Sirius University of Science and Technology, 1 Olympic Ave, 354340, Sochi, Russia

*maksimkulagin06@yandex.ru



Кулагин М.А.



Сидоренко В.Г.

Резюме. Цель. Целью работы является рассмотрение вопросов повышения объективности оценки качества управления подвижным составом машинистами. **Методы.** В исследовании, представленном в статье, используются методы статистического анализа и линейной алгебры. **Результаты.** Разработан алгоритм формирования профилактических мероприятий и произведена оценка эффективности их применения для машинистов транспортных средств городских рельсовых транспортных систем (ГРТС). Алгоритм формирования профилактических мероприятий для машинистов ГРТС включает в себя: прогнозирование нарушений; определение факторов, влияющих на возникновение каждого из типов нарушений; определение показателей машинистов, больше всего отклоняющихся от целевых значений. Оценка эффективности базируется на предположении о соотношении стоимости работы машиниста-инструктора с машинистом к стоимости потерь, которые может понести компания в случае совершения нарушения. В статье показано, что уровень ошибки первого рода в модели прогнозирования нарушений в работе машинистов оправдан при условии, что затраты, которые возникают при грубых нарушениях при управлении подвижным составом, значительно выше затрат на работу с этим машинистом. Представлен анализ применения интеллектуальной системы в 4-х эксплуатационных депо. **Заключение.** В статье представлен алгоритм формирования профилактических мероприятий для машинистов, управляющих подвижным составом. Сформулирован экономический критерий эффективности применения разработанной математической модели прогнозирования грубого нарушения при управлении подвижным составом машинистом. Проведен анализ необходимых и достаточных условий экономической эффективности применения интеллектуальной системы. Представлен сравнительный анализ среднего количества грубых нарушений при управлении подвижным составом машинистами в депо с внедренной интеллектуальной системой и без нее.

Abstract. Aim. The paper aims to examine the matters related to increasing the objectivity of evaluation of the quality of train control by train drivers. **Methods.** The study presented in the paper uses statistical analysis and linear algebra. **Results.** An algorithm was developed for defining preventive measures and their application efficiency was evaluated for drivers of rapid transit trains. The algorithm for defining preventive measures for drivers of rapid transit trains includes the following: violation prediction; definition of the factors that affect the onset of each type of violations; definition of the characteristics of the drivers that most deviate from the target values. The efficiency estimation is based on the assumption of correlation between the cost of a driving instructor's work with a driver and the cost of losses that the company might incur in case of violations. The paper shows that the level of an error of the first kind in the train driver violation prediction model is justified, provided that the cost incurred as the result of gross train control violations is significantly greater than that associated with the training of such driver. The paper presents an analysis of the application of the AI-based system in four depots. **Conclusion.** The paper presents an algorithm for defining preventive measures for train drivers. An economic criterion was defined for evaluating the efficiency of application of the developed mathematical model for predicting gross violations of train control. The required and sufficient conditions of economic efficiency of the AI-based systems application were analysed. A comparative analysis was presented of the mean number of gross train driving violations in depots with and without the AI-based system.

Ключевые слова: интеллектуальное управление, городской рельсовый транспорт, машинист, вероятность возникновения нарушений.

Keywords: smart control, urban rail transportation, driver, probability of violation.

Для цитирования: Кулагин М.А., Сидоренко В.Г. Оценка экономической эффективности профилактических мероприятий по сокращению числа нарушений при управлении подвижным составом // Надежность. 2022. №4. С. 37-44. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2022-22-4-37-44>

For citation: Kulagin M.A., Sidorenko V.G. Evaluating the economic efficiency of preventive measures aimed at reducing the number of train control violations. Dependability 2022;4:37-44. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2022-22-4-37-44>

Поступила 12.09.2022 / После доработки 21.10.2022 / К печати 15.12.2022

Received on: 12.09.2022 / Revised on: 21.10.2022 / For printing: 15.12.2022.

Введение

Одной из составляющих интеллектуальной системы управления производственными ресурсами городских рельсовых транспортных систем (ИСУ ПР ГРТС) является интеллектуальная система прогнозирования, планирования и анализа работы сотрудников ГРТС, функционирование которой направлено на комплексную автоматизацию процесса управления кадрами и их профессиональной подготовкой и решение применительно к разным категориям сотрудников родственных задач [1, 2]:

- обучение персонала;
- оценка качества подготовки персонала и его квалификации;
- оценка качества управления объектами ГРТС и выполнения работ;
- создание графика работы персонала.

Данная статья посвящена рассмотрению вопросов повышения объективности оценки качества управления подвижным составом машинистами. В настоящее время деятельность машинистов не имеет объективной и независимой от машиниста-инструктора системы оценки. Учет и определение значимости показателей, которые характеризуют качество работы машиниста, зависят в

основном только от закрепленного над ним руководителя, то есть наблюдается присутствие влияния «человеческого фактора». Для автоматизации этих процессов разработана и внедрена автоматизированная рекомендательная система «Доверенная среда локомотивного комплекса», которая позволяет дать объективную оценку анализа деятельности машиниста и сформировать список рекомендуемых профилактических мероприятий, направленных на снижение частоты возникновения нарушений при управлении подвижным составом, что в свою очередь способствует снижению рисков, связанных с такими нарушениями [3]. При создании «Доверенной среды локомотивного комплекса» нашли практическое применение принципы построения и математические модели интеллектуальной системы анализа и прогнозирования нарушений при управлении подвижным составом (ИСУПС_{маш}), разработанные авторами статьи [4, 5]. Формирование перечня профилактических мероприятий для машиниста базируется на результатах прогнозирования нарушения и его типа, а также расчета отклонения показателей машиниста от целевых [6]. При совершении прогноза у модели могут возникать ошибки первого и второго рода. Ошибки первого рода представляют собой события ложного определения машинистов, с которыми требуется проведение профилактических мероприятий, а это влечет за собой затраты компании ОАО «РЖД». Ошибки второго рода представляют собой события непроведения профилактических мероприятий с машинистами, с которыми это требуется, а это влечет за собой затраты компании ОАО «РЖД» на ликвидацию последствий нарушений. Поэтому целесообразно показать эффективность проведения основной и дополнительной профилактической работы, рекомендуемой ИСУПС_{маш}.



Рис. 1. Жизненный цикл локомотивной бригады

Обзор источников

В ОАО «РЖД» накоплен достаточный объем данных о работе машинистов, поэтому задачу про-

Табл. 1. Факторы, влияющие на возникновение нарушения

Номер	Группа факторов	Факторы
Ф1	Человеческий фактор	Низкий уровень знаний
Ф2	Человеческий фактор	Недостаток опыта
Ф3	Человеческий фактор	Невнимательность
Ф4	Человеческий фактор	Отвлечение
Ф5	Человеческий фактор	Спешка
Ф6	Человеческий фактор	Халатность
Ф7	Общая характеристика нарушения	Негрубое нарушение
Ф8	Общая характеристика нарушения	Грубое нарушение
Ф9	Общая характеристика нарушения	С нарушением регламента
Ф10	Общая характеристика нарушения	С возможностью нарушения безопасности
Ф11	Общая характеристика нарушения	Факт нарушения безопасности

гнозирования нарушения по вине машиниста также можно решать с использованием методов машинного обучения, в частности с использованием методов обучения с учителем. Кроме того, интеллектуальные подходы и подходы по оценке рисков сейчас активно используются в ОАО «РЖД» [7–12].

В начале статьи целесообразно представить краткую характеристику технологического жизненного цикла локомотивной бригады (ЛБ) и машиниста (рис. 1). Полный технологический жизненный цикл ЛБ состоит из двух частей: оборот ЛБ и домашний отдых. Технологический жизненный цикл ЛБ состоит из 2-х основных процессов. Первый процесс характеризуется отдыхом ЛБ в домашних условиях. Второй процесс относится к поездкам, когда ЛБ отдыхает в пункте оборота.

В основные обязанности ЛБ входит [13]:

- обеспечение безопасности движения поездов при выполнении эксплуатационной работы;
- соблюдение требований охраны труда, пожарной и экологической безопасности;

- знание и выполнение правил технической эксплуатации и других нормативных актов по вопросам, относящимся к обязанностям работников ЛБ;

- повышение своих квалификации, технических знаний и профессионального мастерства.

Методы и используемые данные

Исходя из разработанных подходов к прогнозированию нарушений и определению отклонений показателей машинистов от целевых значений, задачей данной статьи является создание и апробация алгоритма формирования мероприятий, оценка их эффективности с экономической точки зрения. В разработанных подходах к прогнозированию нарушений рассматриваются грубые нарушения при управлении подвижным составом. Под грубыми нарушениями понимаются нарушения, которые оказывают прямое влияние на безопасность движения поездов. Влияние нарушения на безопасность движения поездов оценено с использованием метода экспертных оценок по 10-балльной шкале, где 1 – менее всего влияет на безопасность и несет минимальные риски; 10 – более всего влияет на безопасность и несет за собой высокие риски возникновения транспортных происшествий. Нарушение с баллом ≥ 8 относится к грубым нарушениям.

Формирование рекомендаций и мероприятий для машиниста осуществляется на базе информации о нарушениях, прогнозируемых алгоритмом, представленным в [4–6]. Для каждого типа нарушений определены факторы, влияющие на его возникновение. Эти факторы можно разделить на две группы: общая характеристика и «человеческий фактор» (табл. 1).

Мероприятия, применяемые к машинисту, разделяются на два класса:

- «краткосрочные» (далее КР) – перед поездкой;
- «долгосрочные» (далее ДР) – после поездки.

Для решения поставленной задачи составлена сводная таблица связей между факторами, влияющими на возникновение нарушений, и мероприятиями, принимаемыми в случае их возникновения, и матрица соответствия мероприятий и факторов, влияющих на их возникновение (табл. 2, где обозначено: 0 – нет связи, 1 – есть связь).

Табл. 2 Матрица соответствия мероприятий и факторов, влияющих на возникновение нарушения

Мероприятие	Класс	Факторы										
		Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5	Ф6	Ф7	Ф8	Ф9	Ф10	Ф11
Разъяснительная работа	КР	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1
Ужесточение дисциплинарных мер	ДР	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
Теоретическое обучение	ДР	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
Практическое обучение	ДР	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1
Определение качества отдыха	ДР	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1
Переформирование бригады	КР	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
Психофизиологическое наблюдение	ДР	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1
Повышение квалификации	ДР	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Дополнительный контроль на линии	КР	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0

Результаты

Для выявления факторов, влияющих на возникновение нарушений, проведен статистический анализ влияния показателей работы машиниста на появление грубых нарушений. В качестве статистических критериев использовались: *t*-критерий Стьюдента и критерий Манна-Уитни [14].

Результаты анализа показали неравенство средних значений в выборках данных при наличии нарушений и их отсутствии при уровне значимости 0,05 для следующих показателей:

- время работы за неделю/месяц до нарушения;
- количество баллов за последнюю плановую проверку знаний;
- количество уникальных помощников за последние 7/30 дней.

Показано наличие сдвига между распределениями в выборках данных при наличии нарушений и их отсутствии при уровне значимости 0,05 для следующих показателей:

- количество симптомов дизадаптации/срывов адаптации;
- количество случаев расхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) по отношению к нормальному на 20% за 7/30 дней;

- средний балл по неплановым проверкам знаний за последние 30 дней;
- влияние количества грубых нарушений, совершенных за последние 7/30/90 дней;
- частота смены норм-участка за последние 30/90 дней.

Алгоритм формирования мероприятий состоит из следующих шагов:

1. Определяются все совершенные и прогнозируемые нарушения за последние *N* дней и формируется матрица $V \in R^{k \times f}$, где *k* – количество нарушений, *f* – количество факторов (табл. 1: Ф1-Ф11). Значения f_j могут принимать 0 или 1, в зависимости от соответствия факторов и совершенного нарушения (1 – связь фактора и нарушения есть, 0 – связь фактора и нарушения отсутствует).

2. Определяется матрица соответствия мероприятий и факторов $E \in R^{e \times f}$, где *e* – это количество мероприятий (табл. 2).

3. Производится перемножение матриц: $R = E \cdot V^T$.

4. Затем производится суммирование значений матрицы *R* по столбцам, результаты сортируются по убыванию и каждому мероприятию присваивается ранг.

Важность мероприятия определяется его рангом. Чем выше ранг, тем выше приоритет мероприятия для данного машиниста.

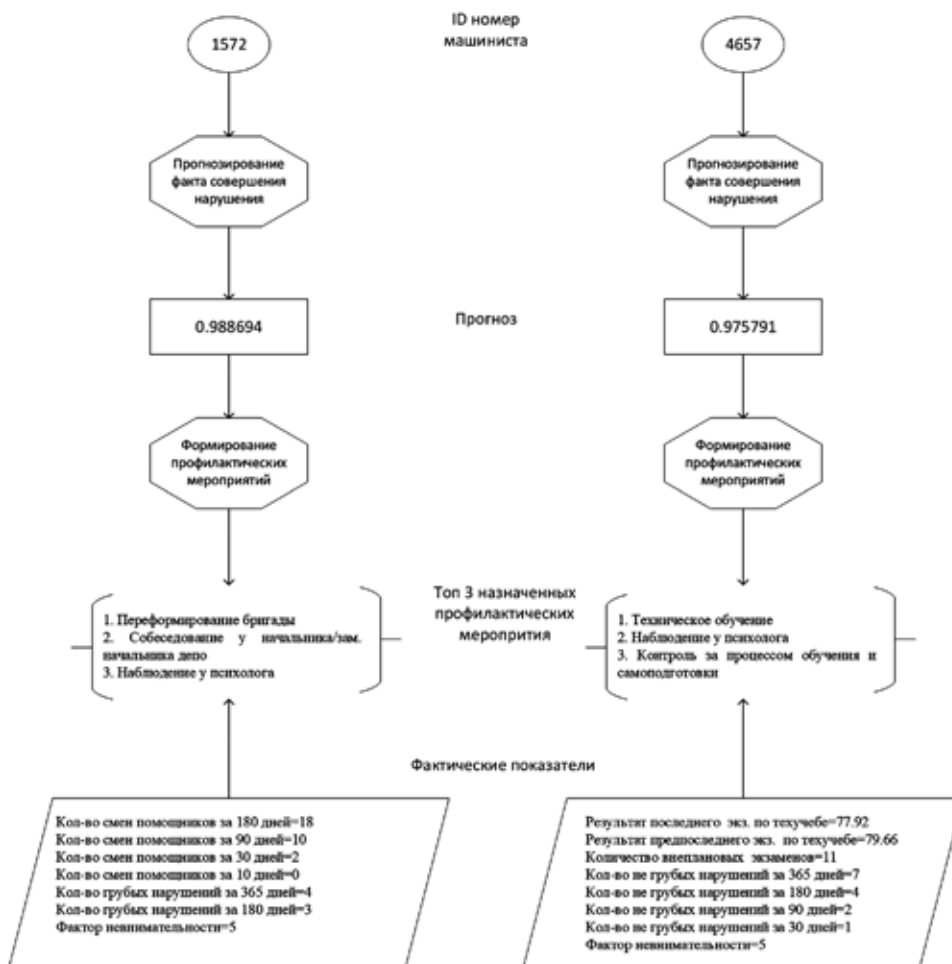


Рис. 2. Примеры назначения мероприятий для двух машинистов по результатам их работы

Для каждого машиниста можно определить набор из представленных факторов, в т. ч. которые наиболее сильно выделяются у данного машиниста.

Алгоритм формирования вектора факторов машиниста:

1. Для всех совершенных машинистом нарушений за последние N дней происходит суммирование набранных факторов из группы «Человеческие факторы», умноженных на веса.

2. Вектор факторов сортируются по убыванию и каждому фактору присваивается ранг.

3. Для каждого машиниста формируется вектор рангов факторов, характеризующий его слабые стороны.

На рис. 2 представлен пример мероприятий, рекомендуемых машинисту, на основе информации о совершенных и прогнозируемых нарушениях при управлении подвижным составом.

Алгоритм формирования мероприятий по нарушениям имеет ограничения в той части, что прогнозируемые нарушения не всегда имеют высокую вероятность и машинист по другим показателям не проявляет отклонений от нормы. Чтобы избежать назначения лишних мероприятий, дополнительно разработаны условия, которые позволяют сформировать точечные мероприятия в зависимости от рассчитанных факторов и исторических показателей машинистов в целях уменьшения вероятности совершения нарушения.

Методика оценки эффективности профилактических мероприятий по сокращению числа нарушений при управлении подвижным составом

Для оценки экономического эффекта от внедрения разработанной математической модели прогнозирования нарушения при управлении подвижным составом машинистом сформулируем экономический критерий эффективности, используя понятие математического ожидания потерь при проведении с машинистом рекомендуемых ИСУПС_{маш} профилактических мероприятий E_m и математического ожидания потерь при отсутствии (без проведения с машинистом) рекомендуемых ИСУПС_{маш} профилактических мероприятий $E_{бм}$. Потери $E_{бм}$ можно определить следующим образом:

$$E_{бм} = p_1(C_n + C_o) + p_2C_o, \quad (1)$$

где p_1 – вероятность совершения нарушения без проведения рекомендуемых профилактических мероприятий, $p_1 = p$;

p_2 – вероятность отсутствия совершения нарушения без проведения рекомендуемых профилактических мероприятий, $p_1 + p_2 = 1$, $p_2 = 1 - p$.

C_n – затраты на ликвидацию последствий нарушения;

C_o – затраты на обязательные нужды.

В свою очередь выражение для затрат E_m на проведение мероприятий можно записать в следующем виде:

$$E_m = E_{11} + E_{12} + E_{21} + E_{22}. \quad (2)$$

Вывод значения каждого слагаемого потерь осуществляется исходя из следующих условий:

– рекомендуемые профилактические мероприятия проведены, но нарушение при управлении подвижным составом выявлено – $E_{11} = q_1 h_1 (C_n + C_m + C_o)$, где q_1 – вероятность того, что рекомендуемые профилактических мероприятия проведены качественно; h_1 – вероятность совершения нарушения при проведении рекомендуемых профилактических мероприятий (ошибка 1-го рода); C_m – затраты на проведение мероприятий;

– рекомендуемые профилактические мероприятия проведены и нарушения при управлении подвижным составом не произошло – $E_{12} = q_1 h_2 (C_m + C_o)$, где h_2 – вероятность отсутствия нарушения при проведении рекомендуемых профилактических мероприятий, $h_1 + h_2 = 1$;

– рекомендуемые профилактические мероприятия проведены некачественно (формально были назначены, но не были проведены машинистом-инструктором) и было нарушение при управлении подвижным составом – $E_{21} = q_2 p_1 (C_n + C_m + C_o)$, где q_2 – вероятность некачественного проведения рекомендуемых профилактических мероприятий, $q_2 = q$, $q_1 + q_2 = 1$, $q_1 = 1 - q$;

– рекомендуемые профилактические мероприятия проведены некачественно и не было нарушения при управлении подвижным составом (ошибка 2-го рода) – $E_{22} = q_2 p_2 (C_m + C_o)$.

Критерий экономической эффективности применения разработанной модели прогнозирования нарушений, совершаемых машинистом при управлении подвижным составом, можно представить в виде:

$$E_{бм} > E_m. \quad (3)$$

Одним из показателей эффективности применения модели является то, что $h_1 \ll p_1$, $h_2 \gg p_2$, в предельном случае, для которого проводятся дальнейшие математические преобразования, значение h_1 должно стремиться к 0, а h_2 – к 1;

Исходя из сформулированного критерия и принятых во внимание допущений, подставив значения в формулу (3), получаем:

$$C_n p + C_o > (1 - q)(C_m + C_o) + qp(C_n + C_m + C_o) + q(1 - p)(C_m + C_o), \quad (4)$$

$$C_n p + C_o > C_m + C_o + qpC_n, \quad (5)$$

$$p > \frac{C_m}{C_n(1 - q)}. \quad (6)$$

Если $k_c = \frac{C_m}{C_n}$ определить как коэффициент затрат, то можно получить (рис. 3):

$$p > \frac{k_c}{(1 - q)}. \quad (7)$$

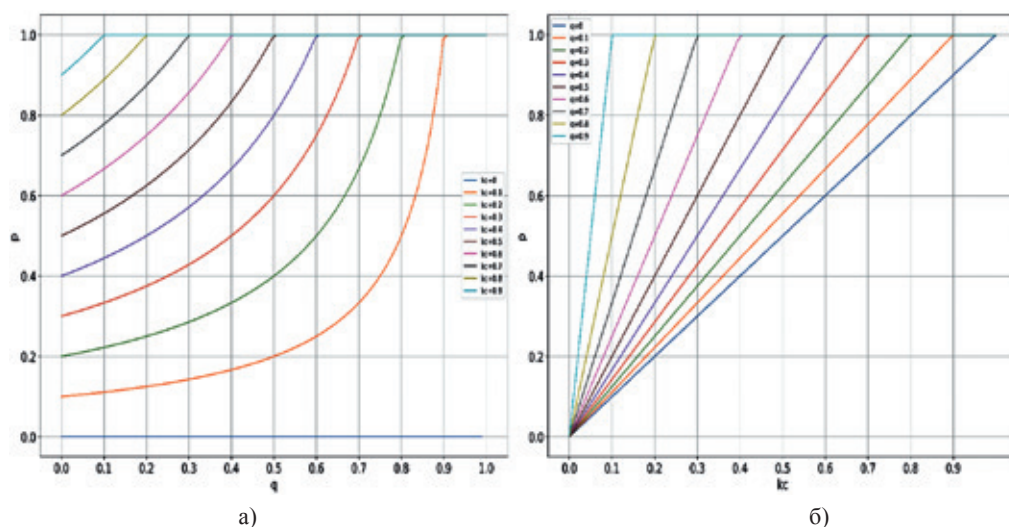


Рис. 3. Зависимости в соответствии с формулой (7): а) p от q ; б) p от k_c

Для расчета значений критерия для i -й поездки j -го машиниста зададим:

$$D_{ji} = \begin{cases} 0, p_{ji} \leq \frac{k_c}{1-q}; \\ 1, p_{ji} > \frac{k_c}{1-q}, \end{cases} \quad (8)$$

где D_{ji} – прогноз совершения нарушения при управлении подвижным составом при условии выполнения критерия для i -й поездки j -го машиниста.

$$R_{ji} = \begin{cases} 0, \text{нарушения не было;} \\ 1, \text{нарушение было,} \end{cases} \quad (9)$$

где R_{ji} – факт совершения нарушения при управлении подвижным составом для i -й поездки j -го машиниста. В результате можно рассчитать размер сокращения потерь с использованием модели (P_j) и без нее (F_j) для j -го машиниста:

$$F_j = \sum_{i=1}^{N_1} R_{ji}^{[1]} C_{ni} \quad (10)$$

$$P_j = \sum_{i=1}^{N_2} [D_{ji} C_{mi} + R_{ji}^{[2]} C_{ni}]. \quad (11)$$

Расчет по формуле (10) проводится для ситуации, когда мероприятия и не планировались ($R_{ji}^{[1]}$), а по формуле (11) – при наличии плановых мероприятий ($R_{ji}^{[2]}$), то есть рассматриваются разные множества поездок одной мощности ($N_1=N_2$). Разработанная математическая модель прогнозирования нарушений при управлении подвижным составом будет способствовать сокращению размера убытков компании в том случае, если критерий эффективности применения модели $M_j=F_j-P_j>0$. Если подставить значения P_j и F_j , то получим:

$$\begin{aligned} M_j &= \sum_{i=1}^{N_1} R_{ji}^{[1]} C_{ni} - \sum_{i=1}^{N_2} [D_{ji} C_{mi} + R_{ji}^{[2]} C_{ni}] = \\ &= \left[\sum_{i=1}^{N_1} R_{ji}^{[1]} C_{ni} - \sum_{i=1}^{N_2} R_{ji}^{[2]} C_{ni} \right] - \sum_{i=1}^{N_2} D_{ji} C_{mi}. \end{aligned} \quad (12)$$

Для вычисления общих потерь необходимо суммировать потери для всех машинистов:

$$M = \sum_{j=1}^L M_j.$$

Условия применимости разработанной методики

Ограничения использования разработанной методики оценки экономической эффективности применения ИСУПС_{маш} является оценка объективной стоимости каждого нарушения C_{ni} и мероприятия C_{mi} . Для выполнения критерия $M_j>0$ и доказательства экономической эффективности применения ИСУПС_{маш} необходимо уменьшение количества грубых нарушений безопасности.

Результаты внедрения системы проанализированы путем сравнения данных 4-х депо, в которых системы была внедрена, в сравнении с депо, где система не использовалась. В качестве статистики использовалось среднее количество грубых нарушений, которые были зафиксированы машинистами за 1 квартал 2022 года (рис. 4). Наблюдается сокращение количества грубых нарушений. Сокращение грубых нарушений является необходимым, но не достаточным условием того, чтобы критерий $M_j>0$ выполнялся. Достаточное условие будет только в том случае, если затраты на профилактические мероприятия, назначаемые ИСУПС_{маш}, будут значительно ниже затрат, которые появились бы из-за нарушений машинистами при управлении подвижным составом, которые не произошли после проведения профилактических мероприятий. Для достаточности условия требуется проведение дополнительных исследований стоимости профилактических мероприятий и нарушений при управлении подвижным составом.

Заключение

Основные результаты статьи:

– представлен алгоритм формирования профилактических мероприятий для машинистов, управляющих поездам в компании ОАО «РЖД»;



Рис. 4. Оценка среднего количества грубых нарушений при управлении подвижным составом, совершаемых машинистами в депо с использованием и без использования ИСУПС_{маш}

– сформулирован экономический критерий эффективности применения разработанной математической модели прогнозирования грубого нарушения при управлении подвижным составом машинистом;

– проведен анализ необходимых и достаточных условий выполнения критерия экономической эффективности применения ИСУПС_{маш};

– представлен сравнительный анализ среднего количества грубых нарушений при управлении подвижным составом машинистами в депо с внедренной системой ИСУПС_{маш} и без нее.

В качестве перспектив развития представленного исследования планируется:

– повышение качества работы моделей, в частности, путем поиска новых значимых показателей, внедрения новых алгоритмов обработки данных и применения математического аппарата управления функциональной надежностью;

– повышение уровня автоматизации процесса расшифровки скоростемерных лент и учета данных с регистраторов переговоров машиниста и помощника машиниста, машиниста и диспетчера.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, НТУ «Сириус», ОАО «РЖД» и Образовательного Фонда «Талант и успех» в рамках научного проекта № 20-37-51001.

Библиографический список

1. Баранов Л.А., Сидоренко В.Г. Интеллектуальные киберфизические системы управления движением внеуличного транспорта (2 часть) // Транспортное строительство. 2021. № 4. С. 19-23.

2. Интеллектуальное централизованное управление движением внеуличного городского железнодорожного транспорта в условиях интенсивного движения / Л.А. Баранов, В.Г. Сидоренко, Е.П. Балакина, Л.Н. Логинова // Надежность. 2021. Т. 21. № 2. С. 17-23. DOI: 10.21683/1729-2646-2021-21-2-17-23

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020612670 Россия. Автоматизированная система Доверенная среда локомотивного

комплекса (2019) / Кулагин М. А., Харин О. В., Якимов С. М., Гоник М. М., Хлудеев М. А., Ярошук Д. И.; опубл. 23.03.2020.

4. Kulagin M., Sidorenko V. A Recommender Subsystem Construction for Calculating the Probability of a Violation by a Locomotive Driver using Machine-learning Algorithms // 2020 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). 2020. Pp. 1-5.

5. Kulagin M., Sidorenko V. An Intelligent Evaluation System for Predicting Engine Driver Reliability // Russian Electrical Engineering. 2020. Vol. 91. № 9. Pp. 587-591.

6. Кулагин М.А., Сидоренко В.Г. Поддержка принятия решения по профилактике нарушений безопасности в работе // Надежность. 2021. Т. 21 № 4. С. 38-46.

7. Проневич О.Б., Зайцев М.В. Интеллектуальные методы повышения точности прогнозирования редких опасных событий на железнодорожном транспорте // Надежность. 2021. Т. 21. № 3. С. 54-64.

8. Применение методов машинного обучения для прогнозирования опасных отказов объектов железнодорожного пути / И.Б. Шубинский, А.М. Замышляев, О.Б. Проневич, А.Н. Игнатов, Е.Н. Платонов // Надежность. 2020. Т. 20. № 2. С. 43-53.

9. Гапанович В.А., Шубинский И.Б., Замышляев А.М. Математическое и информационное обеспечение системы УРРАН // Надежность. 2013. № 1. С. 3-19.

10. Гречишников В.А., Куров Н.Д., Куров Д.А. Использование квалификационной способности нейронных сетей для определения аварийных режимов в тяговой сети // Электротехника. 2020. № 9. С. 20-25.

11. Kulagin M., Khromov S., Sidorenko V. Machine learning application for support for automated control systems users // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1680. № 1. P. 12019.

12. Воронкова Е.А., Медведева В.М. Оценка профессиональных рисков машинистов и помощников машинистов железнодорожно-строительных машин // Проблемы безопасности российского общества. 2019. № 4. С. 42-48.

13. Петренко В. Современные тренажеры для локомотивных бригад // Проблемы безопасности на транспорте:

материалы X международной научно-практической конференции. Часть 3: Безопасность транспортных систем. Безопасность пассажирских перевозок. Гомель, 26–27 ноября 2020 г. С. 48-49.

14. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. New York: Springer, 2001. 745 p.

References

1. Baranov L.A., Sidorenko V.G. [Smart cyberphysical rapid transit control systems (Part 2)]. *Transportnoye stroitelstvo* 2021;4:19-23. (in Russ.)

2. Baranov L.A., Sidorenko V.G., Balakina E.P., Loginova L. N. 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.

3. Kulagin M.A., Kharin O.V., Yakimov S.M., Gonik M.M., Khludeev M.A., Yaroshchuk D.I. [Automated System Trusted Environment of the Locomotive Service. Russian state registration certificate for software no. 2020612670]. Published on 23.03.2020.

4. Kulagin M., Sidorenko V. Recommender Subsystem Construction for Calculating the Probability of a Violation by a Locomotive Driver using Machine-learning Algorithms. IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS); 2020. P. 1-5.

5. Kulagin M., Sidorenko V. An Intelligent Evaluation System for Predicting Engine Driver Reliability. *Russian Electrical Engineering* 2020;91(9):587-591.

6. Kulagin M.A., Sidorenko V.G. Decision support for preventing safety violations. *Dependability* 2021;21(4):38-46.

7. Pronevich O.B., Zaytsev M.V. Intelligent methods for improving the accuracy of prediction of rare hazardous events in railway transportation. *Dependability* 2021;3:54-64.

8. Shubinsky I.B., Zamyshlyayev A.M., Pronevich O.B., Platonov E.N., Ignatov A.N. Application of machine learning methods for predicting hazardous failures of railway track assets. *Dependability* 2020;2:45-53.

9. Gapanovich V.A., Shubinsky I.B., Zamyshlyayev A.M. Mathematical and information support of the URRAN system. *Dependability* 2012;3:12-19.

10. Grechishnikov V.A., Kurov N.D., Kurov D.A. Using the qualification ability of neural networks for identifying emergency modes in an electric traction network. *Elektrotehnika* 2020;9:20-25. (in Russ.)

11. Kulagin M., Khromov S., Sidorenko V. Machine learning application for support for automated control systems users. *Journal of Physics: Conference Series* 2020;1680(1):12019.

12. Voronkova E.A., Medvedeva V.M. Assessment of the professional risks of machinists and assistants of railway

and construction machine operators. *Security problems of the Russian society* 2019;4:42-48. (in Russ.)

13. Petrenko V. [Advanced train crew simulators]. In: [Proceedings of the X International Research and Practice Conference Matters of Transportation Safety. Part 3: Transportation System Safety. Passenger Transportation Safety]; 2020. P. 48-49. (in Russ.)

14. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. New York: Springer; 2001.

Сведения об авторах

Кулагин Максим Алексеевич – заместитель начальника отдела разработки технологических информационных систем АО «ВНИИЖТ», ул. 3-я Мытищинская, д. 10, Москва, Российская Федерация, 129626; доцент кафедры «Управление и защита информации» РУТ (МИИТ), ул. Образцова, д.9, стр.9, Москва, Российская Федерация, 127994, e-mail: maksimkulagin06@yandex.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

Maxim A. Kulagin, Deputy Head of Process-Oriented Information Systems Unit, JSC VNIIZhT, 10, 3-rd Mytishchinskaya St., Moscow, 129626, Russian Federation; Senior Lecturer, Department of Management and Protection of Information, RUT (MIIT), 9, bldg 9 Obrazcova St., Moscow, 127994, Russian Federation e-mail: maksimkulagin06@yandex.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

Кулагиным М.А. разработаны алгоритмы формирования перечня профилактических мероприятий, рекомендуемых для повышения надежности машиниста, и методика оценки эффективности профилактических мероприятий сокращению числа нарушений при управлении подвижным составом.

Сидоренко В.Г. проанализированы результаты применения и определены условия применимости методики оценки эффективности профилактических мероприятий по сокращению числа нарушений при управлении подвижным составом.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.