

Поддержка принятия решения по профилактике нарушений безопасности в работе

Максим А. Кулагин^{1, 2*}, Валентина Г. Сидоренко^{1, 2}

¹ПУТ(МИИТ), Москва, Российская Федерация, ²Sirius University of Science and Technology, Sochi, Russia

*maksimkulagin06@yandex.ru



Максим А. Кулагин



Валентина Г. Сидоренко

Резюме. Цель. Целью работы является рассмотрение опыта снижения влияния человеческого фактора на ход технологических процессов, разработка структуры и математического обеспечения системы поддержки принятия решений по профилактике нарушений безопасности в работе машиниста с использованием методов машинного обучения, анализ полученных результатов. **Методы.** В исследовании, представленном в статье, используются методы машинного обучения, статистического анализа и экспертного анализа. В части методов машинного обучения использовались: логистическая регрессия, случайные леса, градиентный бустинг над решающими деревьями при частотном представлении категориальных признаков, нейронные сети. **Результаты.** Сформировано множество характеризующих работу машиниста показателей, которые используются в создаваемой системе. Сформулирован термин «надежность машиниста», как способность не совершать нарушения безопасности движения в течение определенного количества поездок. Реализованы и исследованы алгоритмы прогнозирования нарушений в работе машинистов, используемые для формирования групп надежности и перечня профилактических мероприятий, рекомендуемых для снижения числа нарушений безопасности в работе машиниста. В качестве меток для задачи прогнозирования нарушений безопасности были выбраны грубые нарушения с установленной виной машиниста, которые могут быть совершены в ближайшие 3, 7, 10, 20, 30, 60 дней. Анализ результатов на тестовой выборке позволил выявить, что модель, основанная на градиентном бустинге над решающими деревьями при частотном представлении категориальных признаков, показывает лучшие результаты для задачи бинарной классификации на горизонте прогнозирования 30 и 60 дней. Разработанный алгоритм дал верный прогноз: в 76% случаях при пороге 0,7 и горизонте 30 дней; в 82% случаях при пороге 0,9 и горизонте 60 дней. Перспективным направлением решения поставленной задачи является интеграция различных подходов к прогнозированию возникновения нарушений безопасности в работе машиниста. В качестве дополнительных результатов с помощью лучшей из рассмотренных модели градиентного бустинга над решающими деревьями при частотном представлении категориальных признаков определены 10 наиболее значимых показателей работы машинистов. **Заключение.** Представлен обзор методов и систем оценки надежности человека и влияния человеческого фактора на безопасность транспортных систем, позволивший выбрать перспективные направления и методы решения задач прогнозного анализа работы машиниста, к которым относятся методы машинного обучения. Сформированное множество показателей работы машиниста, учитывающих динамику изменения качества работы машиниста в прошлом, позволило получить исходные данные для обучения моделей, реализованных в рамках создаваемой системы. Реализованные модели позволили агрегировать информацию о машинистах для принятия точечных и временных профилактических мероприятий, рекомендуемых для повышения надежности машиниста. Сформулированный подход по формированию профилактических мероприятий внедрен в трех депо ОАО «РЖД» в режиме опытной эксплуатации.

Ключевые слова: интеллектуальное управление, рекомендательные системы, система поддержки принятия решений, машинное обучение, градиентный бустинг, человеческий фактор, машинист, транспортная система.

Для цитирования: Кулагин М.А., Сидоренко В.Г. Поддержка принятия решения по профилактике нарушений безопасности в работе // Надежность. 2021. № 4. С 38-46. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2021-21-4-38-46>

Поступила 16.09.2021 г. / После доработки 30.10.2021 г. / К печати 14.12.2021 г.

Введение

Одним из предметов исследования в области анализа влияния человеческого фактора в системе «человек-машина» является проблема ошибок человека в процессе деятельности и возможность прогнозирования этих ошибок. В настоящее время деятельность машинистов не имеет объективной системы оценки. Учет и определение значимости показателей, которые характеризуют качество работы машиниста, зависят в основном от закрепленного над ним руководителя, то есть наблюдается присутствие влияния человеческого фактора. Поэтому целесообразно разработать систему поддержки принятия решения (СППР) по профилактике нарушений безопасности в работе машиниста, которая позволит дать объективную оценку деятельности машиниста путем прогнозирования возможных нарушений и формирования перечня профилактических мероприятий, рекомендуемых для повышения надежности машиниста.

Введем понятие «надежность машиниста», которую будем определять, как способность не совершать нарушений безопасности движения в течение R поездок, $R \geq 1$. При этом под нарушением безопасности движения понимается множество инцидентов, приводящих к нарушению пунктов действующего в ОАО «РЖД» классификатора нарушений и нештатных ситуаций. Это множество формируется по результатам расшифровки скоростемерных лент, регистрируемых в сетевой информационно-сигнальной системе учета, анализа и расследования нарушений безопасности движения [1]. Вероятность отсутствия нарушений безопасности движения вычисляется через вероятность противоположного события:

$$P(R) = 1 - P_N(R), \quad (1)$$

где $P_N(R)$ – вероятность нарушения безопасности движения в течение R поездок. Определение этой величины требует знаний о корреляционной зависимости между показателями машиниста и совершаемыми нарушениями.

Понятие структурной и функциональной надежности детально рассматривается в работах [2, 3]. В рамках данного исследования логично опираться на понятие функциональной надежности, определяемой как готовность машиниста к выполнению предусмотренных для него задач в течение R поездок. Задачи можно сформулировать, как:

- обеспечивать выполнение графика движения поездов;
- выполнять установленные технологии вождения поездов и производства маневровых работ;
- при вождении пассажирских поездов обеспечивать качественное обслуживание пассажиров, не допуская нарушений плавности ведения поезда, режима электроотопления и вентиляции вагонов, порядка посадки и высадки пассажиров.

1. Обзор источников

Несмотря на значительное развитие автоматизированных систем управления (АСУ), исключить полно-

стью участие человека в производственных процессах невозможно. Анализ надежности человека (АНЧ) – это относительно новое дисциплинарное направление. Методы АНЧ применяются во многих отраслях. Данные методы направлены на оценку надежности человека и человеческого фактора, влияющего на АСУ. Научное сообщество за последние годы разработало несколько методологий АНЧ [4, 5, 6]. Разработанные методологии можно разделить на две макрокатегории: методы первого и второго поколения.

Методы первого поколения включают 35-40 методов обеспечения надежности человека, многие из которых являются модификацией одного метода. Теоретической базой, которая объединяет большинство методов первого поколения, является: метод классификации ошибок в соответствии с понятием «бездействие»; определение «факторов, влияющих на производительность»; когнитивная модель (основанная на навыках, правилах и знаниях). Наиболее популярной в первом поколении теорией для определения и классификации неправильных действий является метод классификации ошибок в соответствии с концепцией, рассмотренной в [7] и основанной на принципе «действие-бездействие». «Бездействие» в рамках данных принципов определяет действие, которое не выполнено или выполнено с опозданием. «Действие» – это выполнение человеком действия, которое не требуется для процесса. На основе этого принципа разработаны модели прогнозирования первого поколения. Самой популярной из них стала модель *THERP* [8]. Это методика по формированию прогноза ошибки человека на основе частоты ошибок этого же человека в прошлом. Данная методика была разработана для атомной электростанции с целью проведения вероятностной оценки риска. С помощью данной методики авторы количественно определяли вероятность человеческой ошибки.

Методы второго поколения, термин, впервые сформулированный в [8, 9, 10], были разработаны с целью преодолеть ограничения методов первого поколения. В основе данных методов использованы модели ментальных процессов, предоставленные когнитивной психологией. Эти методы расширили способы описания ошибок за пределами обычной бинарной классификации. Рассмотрены динамические аспекты взаимодействия человека с машиной и их использование в качестве основы для разработки тренажеров операторской деятельности.

Затрагиваемая в статье тема связана с безопасностью движения на железнодорожном транспорте, обеспечение которой является одной из ключевых задач для ОАО «РЖД». Существует множество работ, посвященных различным аспектам безопасности. Рассмотрим некоторые примеры [11, 12, 13, 14]. Безопасность на железнодорожном транспорте в части управления и контроля поведения машиниста обеспечивается с использованием различных средств. Для повышения безопасности движения на подвижном составе реализована комплексная система, в состав которой входят:

- универсальная система автоведения поезда (УСАВП) [15];
- система автоматического управления тормозами (САУТ-ЦМ) [16];
- комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ-У) [17];
- телемеханическая система контроля бодрствования машиниста (ТСКБМ) [18];
- рукоятка бдительности машиниста (РБМ) [19].

Кроме систем управления безопасностью через косвенное управление и ограничения поведения машиниста существуют методы оценки личностных характеристик машинистов, методики, предназначенные для применения в рамках психологического сопровождения профессиональной деятельности машинистов. По результатам применения этих методик составлено развернутое описание мотивационно-личностных качеств, характеризующих выборку машинистов, а также проанализирована взаимосвязь выделенных характеристик с уровнем аварийности в их поездной деятельности [20].

Среди работ по оценке человеческой деятельности на железной дороге можно выделить работу [21]. В ней автор опирается на методы экспертных оценок, используемые для определения коэффициентов значимостей показателей, производит оценку рисков возникновения потенциальных, вызванных влиянием человеческого

фактора несоответствий в технологических процессах работы железнодорожных станций. В результате работы выявлено, что основной причиной (50–75% от общего числа причин) инцидентов на железнодорожном транспорте являются ошибочные действия технического персонала.

Построение рейтинга работы машинистов уже проводилось в ОАО «РЖД» [22]. В качестве основы алгоритма использовался сбор и анализ мнений экспертов. Эксперты отбирали признаки и проставляли их значимости. В качестве математического аппарата использована классическая линейная комбинация вектора признаков и вектора весов, которая нормировалась по количеству поездок, совершенных машинистом в течение месяца. Заметное ограничение метода заключается в субъективности мнений экспертов, что может повлечь за собой смещение или сильный разброс оценки качества работы машиниста.

Проводимые исследования в статье полноценно могут быть интегрированы в систему интеллектуального централизованного управления движением внеуличного городского железнодорожного транспорта в условиях интенсивного движения [23].

2. Методы

СППР по профилактике нарушений безопасности в работе машиниста включает в себя следующие блоки (рис. 1):

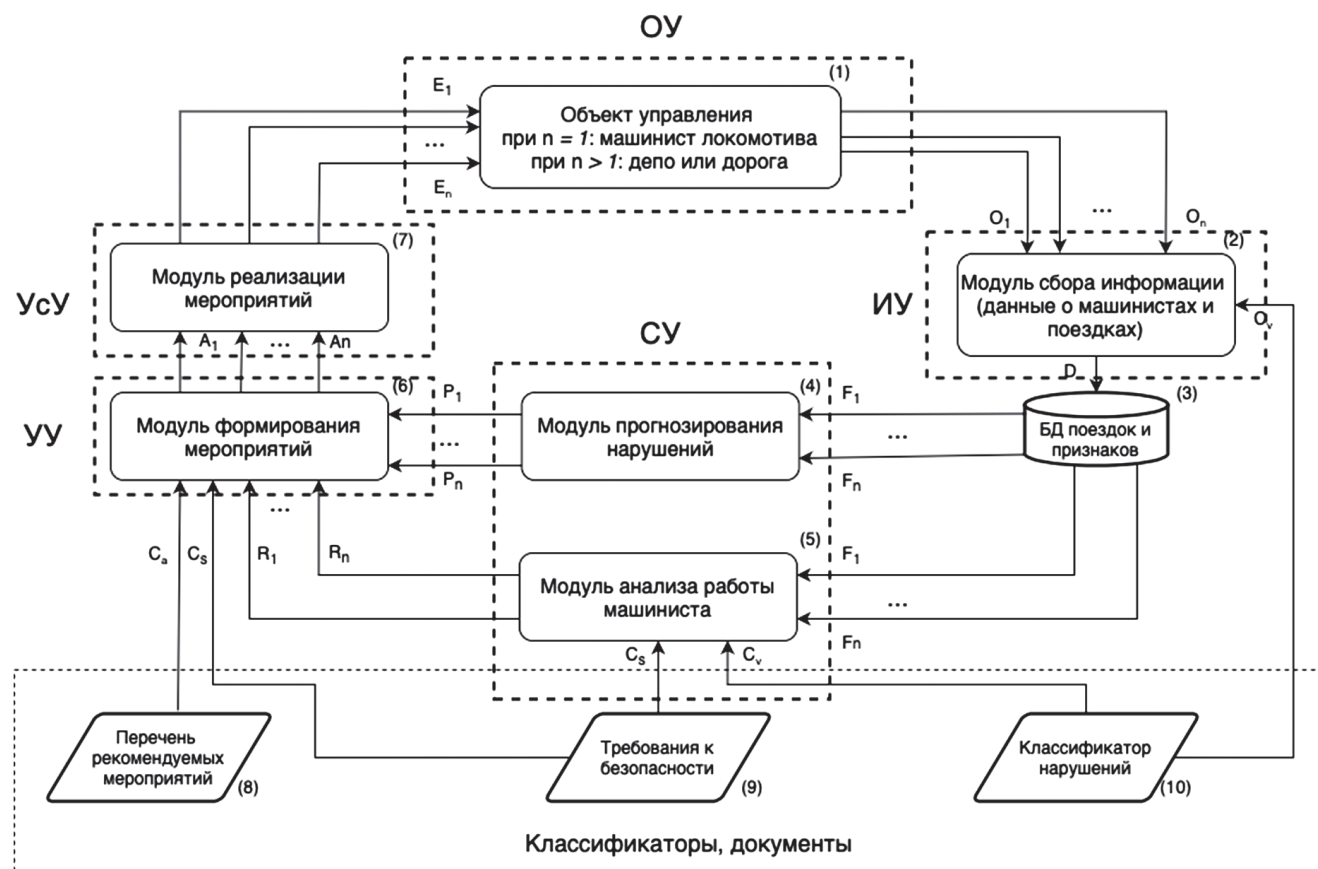


Рис. 1. Структурная схема СППР по профилактике нарушений безопасности в работе машиниста (ОУ – объект управления; ИУ – измерительное устройство; СУ – сравнивающее устройство; УУ – устройство управления; ИсУ – исполнительное устройство)

1. Объект управления – машинист или группа машинистов, объединенные в рамках одного депо или железной дороги. На вход данный блок получает управляющие воздействия $[E_1, E_2, \dots, E_n]$, а на выходе формируется массив реакций, который совершает объект управления, $[O_1, O_2, \dots, O_n]$.

2. Модуль сбора информации фиксирует (измеряет) информацию о машинистах и записывает ее в базу данных. Важно отметить, что информация фиксируется в различных АСУ ОАО «РЖД». На выходе данного модуля формируется массив D .

3. База данных – это единое физическое хранилище больших данных, которые собираются из различных АСУ ОАО «РЖД» с использованием информационной системы «Доверенная среда локомотивного комплекса» [24]. В данном хранилище содержится необработанная информация о машинистах и результаты расчета показателей их работы. На выходе данного блока формируется вектор показателей $[F_1, F_2, \dots, F_n]$.

4. Модуль прогнозирования нарушений рассчитывает вероятности совершения нарушений машинистами на основе показателей, характеризующих их работу. На выходе данного блока формируется вектор вероятностей $[P_1, P_2, \dots, P_n]$, хранящий информацию о вероятности возникновения грубого нарушения и вероятностях возникновения конкретных нарушений.

5. Модуль анализа работы машиниста агрегирует информацию о рейтинге машинистов [25], количестве и составе совершенных нарушений, группах риска машиниста, медицинские показатели машиниста в предыдущих поездках. На вход модуля кроме уже описанной поступает следующая информация:

– C_v – классификатор регистрируемых нарушений и нештатных ситуаций, выявляемых при расшифровке скоростемерных лент и других носителей информации;

– C_s – требования по безопасности, утвержденные в ОАО «РЖД»;

– $[F_1, F_2, \dots, F_n]$ – вектор признаков и характеристик машиниста.

На выходе модуля формируются значения $[R_1, R_2, \dots, R_n]$ функции принадлежности машиниста к одной из групп надежности и критерии формирования перечня профилактических мероприятий, рекомендуемых для повышения надежности машиниста.

6. Модуль планирования мероприятий формирует перечень профилактических мероприятий, рекомендуемых для повышения надежности конкретного машиниста, депо, железной дороги. На вход модуля кроме уже описанной информации поступает перечень профилактических мероприятий C_{op} , которые могут быть рекомендованы для повышения надежности машиниста.

На выходе модуля формируется перечень мероприятий и действий $[A_1, A_2, \dots, A_n]$, направленных на повышение уровня безопасности движения поездов.

7. Модуль реализации мероприятий формирует массив $[E_1, E_2, \dots, E_n]$ управляющих воздействий, оказывающих влияние на объект управления.

Исходя из сформированной структурной схемы СППР по профилактике нарушений безопасности в работе машиниста (см. рис. 1) определим задачи, решение которых рассмотрено в данной статье:

а) определение множества показателей работы машиниста, используемых СППР;

б) разработка алгоритма прогнозирования нарушений в работе машинистов с целью формирования групп надежности в рамках СППР;

в) разработка алгоритма формирования перечня профилактических мероприятий, рекомендуемых для повышения надежности машиниста, на основе анализа результатов работы алгоритмов прогнозирования нарушений в работе машиниста;

г) реализация СППР по профилактике нарушений безопасности в работе машиниста в рамках автоматизированной информационной системы управления ОАО «РЖД».

3. Результаты определения множества показателей работы машиниста, используемых СППР по профилактике нарушений безопасности в работе машиниста

В исследовании анализировались 90 показателей, характеризующих работу машиниста, полученных и сгенерированных из 7 АСУ ОАО «РЖД». Все показатели можно разбить на группы: топливо-энергетический расход; дисциплинарные (связанные с нарушениями безопасности в прошлом); медицинские; соблюдение режима работы; взаимодействие с помощником; уровень знаний; взаимодействие с машинистом-инструктором; базовая информация (например: стаж, класс и т.п.). Всего проанализированы данные более 4,2 млн поездок за период с 01.01.2020 по 01.08.2020.

4. Разработка алгоритма прогнозирования нарушений в работе машинистов с целью формирования групп надежности в рамках СППР по профилактике нарушений безопасности в работе машиниста

Алгоритм прогнозирования нарушений в работе машинистов решает задачу бинарной классификации по прогнозированию совершения нарушения машинистом в ближайшее время. В качестве тестовой выборки использовалось порядка 850 тыс. поездок машинистов.

В качестве меток для задачи прогнозирования нарушений безопасности были выбраны грубые нарушения с установленной виной машиниста, которые могут быть совершены в ближайшие 3, 7, 10, 20, 30, 60 дней. Выборка меток машинистов является несбалансированной. Данная проблема и возможные способы ее решения освещены в статье [26].

При решении задачи бинарной классификации требуется использовать только тот способ оценки качества работы модели, который отражает объективную ситуацию. В данной задаче корректнее использовать точность (Assigasy), гармоническое среднее (F-мера), площадь под кривой ошибок (AUC ROC). В табл. 1 приведены результаты решения задачи прогнозирования с исполь-

Табл. 1. Результаты работы моделей бинарной классификации для горизонта прогнозирования 30 дней

№	Алгоритм	Метрика	Способ преобразования категориальных признаков				
			Label encode + Масштаб.	One hot encode + Масштаб.	Метод главных компонент	Частотное представление + масштаб.	Autoencoder
1	Логистическая регрессия	Accuracy	0,7535	0,7767	0,7535	0,7682	0,7511
		F-мера	0,0854	0,1090	0,0854	0,1140	0,1865
		AUC_ROC	0,7239	0,6930	0,7239	0,4078	0,4242
2	Случайные леса	Accuracy	0,8043	0,6961	0,6294	0,9829	0,6811
		F-мера	0,1235	0,2246	0,2461	0,2048	0,2342
		AUC_ROC	0,7495	0,6100	0,6367	0,8177	0,6379
3	Градиентный бустинг над решающими деревьями	Accuracy	0,7732	0,7637	0,6396	0,9712	0,9023
		F-мера	0,1860	0,3620	0,4242	0,7248	0,5574
		AUC_ROC	0,6920	0,7532	0,7658	0,9885	0,7322
4	Нейронные сети	Accuracy	0,5331	0,6740	0,5913	0,6142	0,9083
		F-мера	0,1432	0,3215	0,2832	0,2776	0,2223
		AUC_ROC	0,7421	0,6860	0,7192	0,6743	0,8822

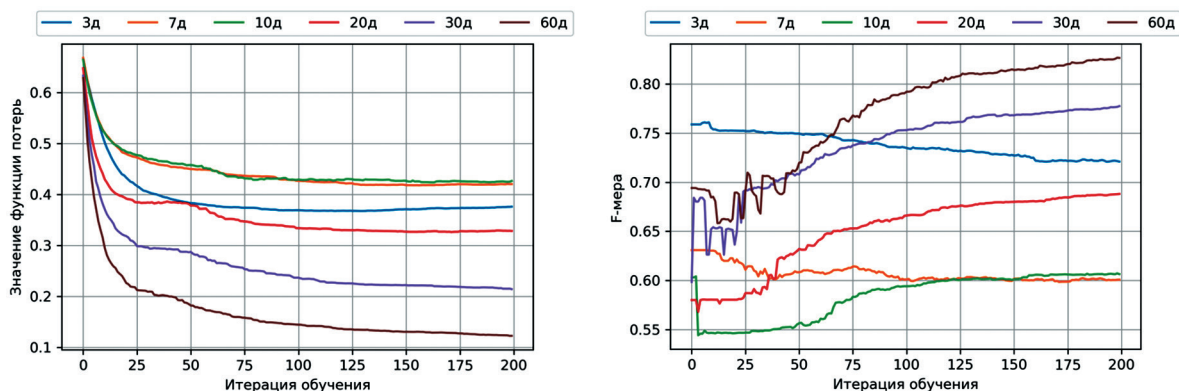


Рис. 2. Результаты работы градиентного бустинга над решающими деревьями при частотном представлении категориальных признаков при различном горизонте прогнозирования

зованием различных алгоритмов машинного обучения и способов представления категориальных признаков [27]. На рис. 2 представлены результаты работы градиентного бустинга над решающими деревьями при частотном представлении категориальных признаков при различных горизонтах прогнозирования.

Результаты обучения бинарного классификатора показывают (рис. 3), что определение вероятности совершения нарушения в ближайшие дни является нетривиальной и непростой задачей. Результаты приведены для двух горизонтов прогнозирования: на 30 и 60 дней. Получилось, что алгоритм сделал верный прогноз: в 76% случаях при пороге 0,7 и горизонте 30 дней; в 82% случаях при пороге 0,9 и горизонте 60 дней. Перспективным направлением решения поставленной задачи является интеграция различных подходов к прогнозированию возникновения нарушений безопасности в работе машиниста. Лучшие результаты по обработке данных показал градиентный бустинг над решающими деревьями при частотном представлении категориальных признаков.

В качестве дополнительных результатов с помощью лучшей из рассмотренных модели градиентного бустинга над решающими деревьями при частотном

представлении категориальных признаков определены 10 наиболее значимых показателей работы машинистов (рис. 4).

5. Разработка алгоритма формирования перечня профилактических мероприятий, рекомендуемых для повышения надежности машиниста, на основе анализа результатов работы алгоритмов прогнозирования нарушений в работе машиниста

Предложен способ формирования групп надежности машинистов на основе квантилей распределения оценок вероятности совершения нарушения и определения уровня надежности в ближайшем будущем. В качестве разграничителей групп надежности, сформированным по значениям вероятностей отсутствия нарушений безопасности движения машинистом, взяты квантили: 0,2, 0,1, 0,01. Данные значения выбраны авторами экспериментально и могут меняться при увеличении объема исследуемых данных или модификации модели.

Исходя из полученных квантилей выделено 4 группы надежности машинистов:

- а) высокий уровень надежности (0,96; 1];
- б) допустимый уровень надежности (0,73; 0,96];
- в) недопустимый уровень надежности (0,39; 0,73];
- г) критический уровень надежности (0; 0,39].

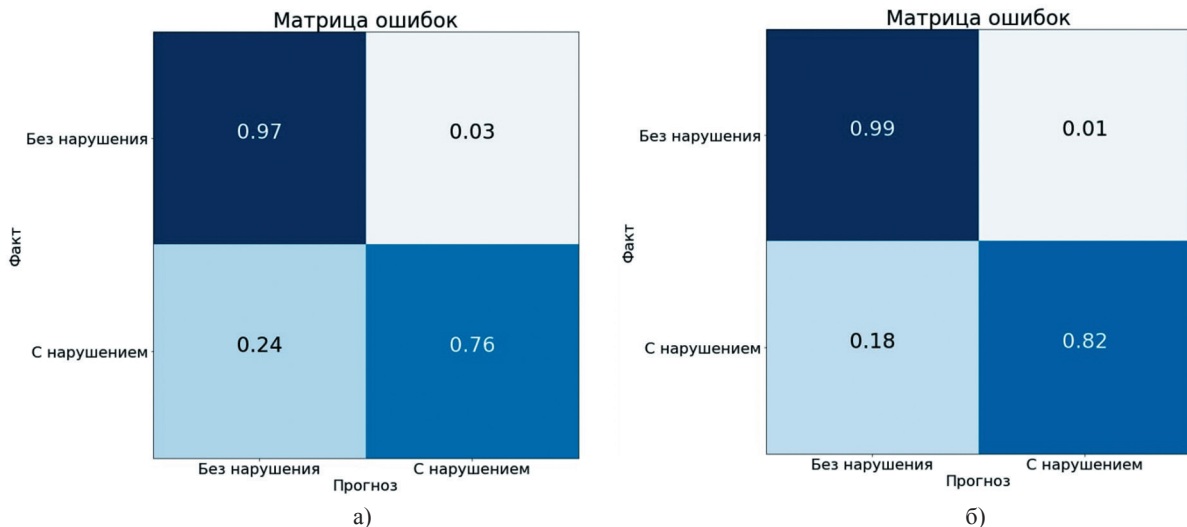


Рис. 3. Матрица ошибок для горизонтов прогнозирования: а) 30 дней; б) 60 дней

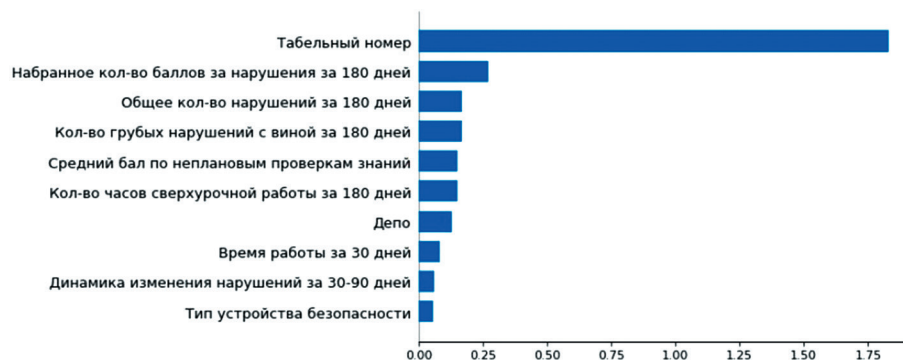


Рис. 4. Значимости категориальных признаков для алгоритма градиентный бустинг над решающими деревьями при частотном представлении категориальных признаков

Помимо алгоритма прогнозирования факта совершения нарушения разработан алгоритм, который позволяет прогнозировать тип нарушения безопасности. Данный алгоритм достаточно подробно представлен в статье [28]. Подходы, используемые для прогнозирования типа нарушения, относятся к области рекомендательных систем и построены на базе нейронных сетей.

6. Реализация СППР по профилактике нарушений безопасности в работе машиниста в рамках автоматизированной информационной системы управления ОАО «РЖД»

Рассмотрим подход к формированию перечня рекомендуемых профилактических мероприятий, который основан на анализе принадлежности машиниста к группе надежности, вероятности факта совершения грубого нарушения, совершенных ранее и прогнозируемых нарушений.

Работа алгоритма (рис. 5) инициируется запросом пользователя информационной системы информации о возможности постановки машиниста в поездку. Глубина проверки наличия ранее совершаемых нарушений (количество дней) N – это параметр, задаваемый руководителями ОАО «РЖД» соответствующей Центральной дирекции. Рекомендуемый параметр для установки в системе по

умолчанию $N=20$, что является средним количеством поездок машиниста в месяц. Если за N дней нарушений не было найдено, то запускается процесс расчета значения вероятности нарушения в ближайшее время (Блок 7). На вход данного блока поступает вектор признаков и характеристик машиниста F . На выходе данного блока рассчитывается вероятность совершения грубого нарушения в ближайшее время P . Затем, после расчета P , производится сравнение с допустимым порогом r , который должен быть задан руководителями ОАО «РЖД» соответствующей Центральной дирекции. Если P не превысило порог r , то машинист допускается до поездки.

Если за N дней нарушения были найдены, то запускается рекомендательная подсистема или рекомендательная модель (Блок 8), которая формирует список нарушений, которые с большей вероятностью может совершить данный машинист в будущем. На вход данного блока подается вектор F и глубина прогноза m (настраиваемый параметр). На выходе формируется отсортированный по значимости список прогнозируемых нарушений V длиной m . Затем список нарушений V передается на вход Блока 9, где производится расчет количества Q грубых нарушений или нарушений, чей вес превышает заданный пороговый коэффициент m .

Если $Q > n$, то запускается алгоритм расчета вероятности совершения нарушения в ближайшее время, если $Q < n$, то машинист допускается к поездке после беседы с руководителем. На вход Блока 12 поступает список нарушений V , вероятность P и текущий рейтинг машиниста R . Для определения множества рекомендуемых мероприятий используются значения V и R . Интерпретировать P можно как величину, дополняющую уровень надежности машиниста до единицы.

Формирование рекомендаций и мероприятий для машиниста осуществляется на базе информации о прогнозируемых и совершенных ранее нарушениях. Каждое нарушение характеризуется двумя группами факторов: общая характеристика (грубое или негрубое нарушение, с нарушением регламента, с возможностью нарушения безопасности, с нарушением безопасности) и человеческий фактор (низкий уровень знаний, недостаток опыта, невнимательность, отвлечение, спешка, халатность).

Мероприятия, применяемые к машинисту, разделяются на две класса: «краткосрочные» – перед поездкой; «долгосрочные» – после поездки.

Алгоритм формирования мероприятий состоит из следующих шагов:

1. Для всех совершенных машинистом нарушений K за последние N дней происходит суммирование на-

бранных уровней значимости перечисленных факторов, умноженных на веса (2):

$$F_v = \sum_{i=1}^K w_i \cdot f_i \quad (2)$$

где w_i – вес i -го нарушения, f_i – вектор факторов i -го нарушения, F_v – суммарный вектор уровней влияний (вектором рангов).

2. Производится перемножение матрицы соответствия факторов f и мероприятий E с вектором уровней влияний (вектором рангов) F_v .

3. Все мероприятия сортируются по неубыванию значимости, и каждому мероприятию присваивается ранг.

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

Заключение

Представлен обзор методов и систем оценки надежности человека и влияния человеческого фактора на безопасность транспортных систем, позволивший выбрать перспективные направления и методы решения задач прогнозного анализа работы машиниста, к которым относятся методы машинного обучения.

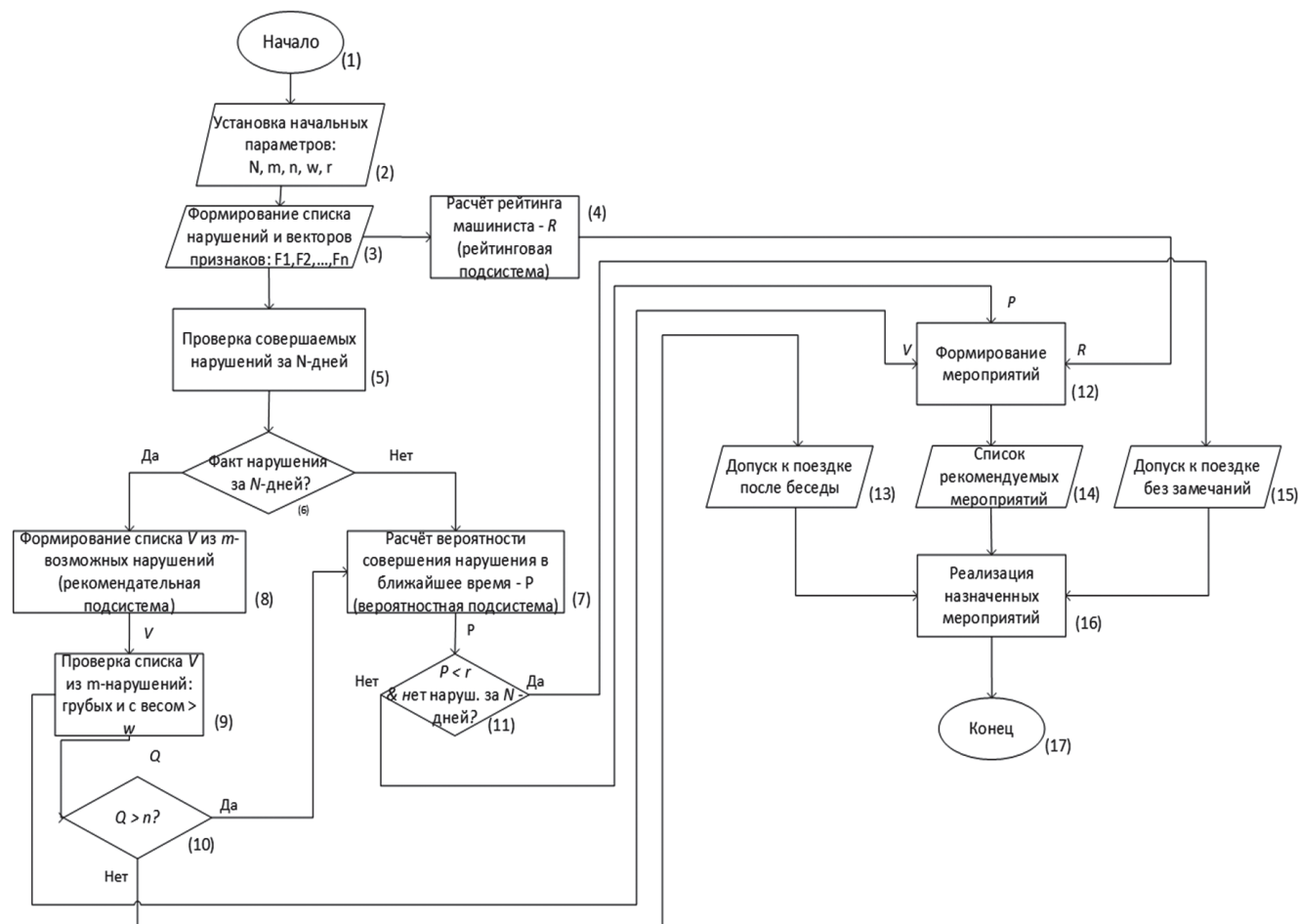


Рис. 5. Структурная схема решающего правила по формированию перечня рекомендуемых профилактических мероприятий

Построены и реализованы в рамках разработанной структуры СППР по профилактике нарушений безопасности в работе машиниста математические модели машинного обучения, дающие возможность решать поставленные перед системой задачи определения уровня надежности машиниста, вероятности совершения нарушения в будущем и формирования перечня профилактических мероприятий, рекомендуемых для повышения надежности работы машиниста.

Определено множество показателей работы машиниста, используемых для определения влияния надежности машиниста на безопасность движения поездов, путем создания и применения метода определения показателей работы машинистов, учитывающих динамику изменения качества работы машиниста в прошлом, что позволило сформировать исходные данные для построения математических моделей СППР по профилактике нарушений безопасности в работе машиниста.

Произведен анализ результатов функционирования алгоритмов машинного обучения на тестовой выборке, который позволил выявить, что модель, основанная на градиентном бустинге над решающими деревьями при частотном представлении категориальных признаков, показывает лучшие результаты для задачи бинарной классификации на горизонте прогнозирования 30 и 60 дней. Данные модели позволяют агрегировать информацию о машинистах для принятия точечных и временных профилактических мероприятий, рекомендуемых для повышения надежности машиниста.

Сформулированный подход по формированию профилактических мероприятий внедрен в трех депо ОАО «РЖД» в режиме опытной эксплуатации.

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. Свидетельство 2019612885. Развитие системы учета и анализа нарушений безопасности движения поездов по результатам автоматической расшифровки кассет регистрации локомотивных устройств (АСУТ НБД-2): программа для ЭВМ / А.П. Голицын, А.А. Маслов, Д.А. Ручкин (RU); правообладатель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». № 2019612885; заявл. 22.02.19; опублик. 04.03.2019, 300 Мб.
2. Шубинский И.Б. Структурная надежность информационных систем. Методы анализа. М: Журнал «Надежность» – 2012. – 212 с.
3. Шубинский И.Б. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа. М: Журнал «Надежность» – 2012. – 296 с.
4. Swain A.D. Human reliability analysis: Need, status, trends and limitations // Reliability Engineering & System Safety, Vol. 29, No. 3, 1990. pp. 301-313.

5. Swain A. D., Guttman H.E. Handbook of human-reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications, Sandia National Labs, Final report №. NUREG/CR--1278, 1983.
6. Corlett E.N., Wilson J.R. Evaluation of human work. CRC Press, 1995.
7. Forester J.A., Ramey-Smith A., Bley D.C. Discussion of comments from a peer review of a technique for human event analysis (ATHEANA). Sandia National Laboratories, 1998.
8. Holmberg J.E., Bladh K., Oxstrand J. The Application of the Enhanced Bayesian THERP in the HRA Methods Empirical Study Using Simulator Data // Proc. of PSAM, 2008.
9. Cooper S.E., Ramey-Smith A.M., Wreathall J.A. technique for human error analysis. USNRC ed. Washington: DC: NUREG/CR-6350, 1996.
10. Hidayatulloh A. Dampak adaptasi presentasi tree-view terhadap niat untuk melakukan pembelian secara online: emosi dan sikap pengguna sebagai mediator (didasarkan pada stimulus-organism-response model) // Optimum: Jurnal Ekonomi dan Pembangunan, Vol. 5, No. 2, 2015. pp. 147-156.
11. Горелик А.В., Тарадин Н.А., Журавлев И.А. Методы анализа безопасности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики // Надежность. 2011. №. 1. С. 40-46.
12. Лисенков В.М. Безопасность и эффективность перевозочных процессов // Экономика железных дорог. 2008. № 4. С. 33-42.
13. Пат. 133960 Российская Федерация. Мобильный учебный демонстрационный комплекс устройств безопасности движения железнодорожного транспорта / Ю.И. Попов, А.Г. Ройзнер, Б.Л. Зеликман, М.А. Певзнер, Ф.В. Янковский: заявитель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». № 2013125124/11; заявл. 30.05.13; опублик. 27.10.13.
14. Кучумов В.А., Никифорова Н.Б., Мурзин Р.В. и др. Методы прогнозирования потребления электроэнергии на тягу поездов // Наука и техника транспорта. 2015. № 3. С. 104-110.
15. Тельпов Б.В., Борисенков С.С. Универсальная система автоматизированного ведения пассажирского поезда // Железнодорожный транспорт 2011. № 3. С. 48-52.
16. Колмаков В.О., Зубков В.В., Новиков А.В. Система автоматического управления тормозами САУТ // Инновации. Наука. Образование. 2020. № 22. С. 545-549.
17. Пат. 2420418 Российская Федерация. Комплексное локомотивное устройство безопасности / В.И. Зорин, С.А. Перевозчиков, А.С. Рычков: заявитель Открытое акционерное общество «Ижевский радиозавод». № 2007145632/11; заявл. 11.12.07; опублик. 10.06.11.
18. Бугаев А.С., Герус С.В., Дементенко В.В. и др. Телемеханическая система контроля бодрствования машиниста // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2017. № 2. С. 21-41.

19. А.с. 990573 Российская Федерация. Устройство для контроля бдительности машиниста / Я.Г. Шихер, Ю.Е. Бовэ, Ю.М. Меерзон, Е.В. Орешкин, В.М. Шахнарович; заявитель: Проектно-конструкторское бюро главного управления локомотивного хозяйства министерства путей сообщения СССР. № 3337528; заявл. 11.08.81; опубл. 23.01.83.

20. Бодров В.А., Орлов В.Я. Психология и надежность: человек в системах управления техникой. М.: «Институт психологии РАН», 1998. 288 с.

21. Апатцев В.И., Завьялов А.М., Синякина И.Н. и др. Обеспечение безопасности движения поездов на основе снижения влияния человеческого фактора // Наука и техника транспорта. 2014. № 2. С. 75-78.

22. 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.

23. 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

24. Свидетельство 2020613754. Автоматизированная система Доверенная среда локомотивного комплекса: программа для ЭВМ / О.В. Харин, С.М. Якимов, М.А. Кулагин и др. (RU); правообладатель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». № 2020613754; заявл. 11.03.2020; опубл. 23.03.2020, 490 Кб.

25. Сидоренко В.Г., Кулагин М.А. Подход к формированию рейтинга работы машиниста с использованием различных метрик сравнения // Электроника и электрооборудование транспорта. 2018. № 1. С. 14-17.

26. Кулагин М.А., Сидоренко В.Г. Квалификация машинистов как фактор повышения надежности работы

электроподвижного состава // Наука и техника транспорта. 2018. № 4. С. 70-76.

27. Dorogush A.V., Ershov V., Gulin A. CatBoost: gradient boosting with categorical features support // arXiv preprint arXiv:1810.11363. 2018.

28. 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.

Сведения об авторах

Максим Алексеевич Кулагин – заместитель начальника отдела разработки технологических информационных систем АО «ВНИИЖТ», ул. 3-я Мытищинская, д. 10, Москва, Российская Федерация, 129626, e-mail: maksimkulagin06@yandex.ru

Валентина Геннадьевна Сидоренко – 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

Вклад авторов в статью

Кулагин М.А. Определено множество показателей работы машиниста, разработаны алгоритмы прогнозирования нарушений в работе и формирования перечня профилактических мероприятий, рекомендуемых для повышения надежности машиниста, проанализированы результаты их работы.

Сидоренко В.Г. Проведен анализ методов влияния человеческого фактора на автоматизированные системы управления, представлен обзор методов анализа надежности человека.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.