ISSN 2227-930X (online)

International Journal of Advanced Studies

Transport and Information Technologies

VOLUME 12, NUMBER 2, 2022

ISSN 2227-930X (online)

International Journal of Advanced Studies

Том 12, № 2
2022

Vol. 12, No. 2
2022

Transport and Information Technologies
IJAS:T&IT

Главный редактор
А.В. Остроух д.т.н., профессор кафедры «Автоматизированные системы управления» (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Российская Федерация)

Editor-in-Chief
Andrey V. Ostroukh Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department 'Automated Control Systems' (Moscow Automobile And Road Construction State Technical University, Moscow, Russian Federation)

Шеф-редактор - Максимов Я.А.

Выпускающие редакторы - Доценко Д.В., Максимова Н.А.

Корректор - Зливко С.Д.

Компьютерная верстка, дизайн - Орлов Р.В.

Технический редактор, администратор сайта - Бяков Ю.В.

Ответственный секретарь - Коробцева К.А.

Красноярск 2022

12+

International Journal of Advanced Studies
Transport and Information Technologies
IJAS:T&IT

Специализированный научно-технический рецензируемый журнал
Peer-reviewed specialized science and technology journal

Периодичность. 4 номера в год / Periodicity. 4 issues per year

Том 12, № 2, 2022 / Vol. 12, No 2, 2021

Учредитель и издатель:
ООО Научно-инновационный центр

Журнал основан в 2011 году
Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
Свидетельство о регистрации
ЭЛ № ФС 77 - 63681
от 10.11.2015

Журнал **входит** в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

Индексирование и реферирование:
РИНЦ
Ulrich's Periodicals Directory
Google Scholar
DOAJ
BASE
WorldCat
OpenAIRE
ЭБС IPRbooks
ЭБС Znanium
ЭБС Лань

Адрес редакции, издателя и для корреспонденции:
Россия, 660127, Красноярский край, г. Красноярск, ул. 9 Мая, 5 к. 192
E-mail: ijas@ijournal-as.com
http://ijournal-as.com/
+7 (923) 358-10-20

Подписной индекс в каталоге «СИБ-Пресса» – 63681

Founder and publisher:
Science and Innovation Center Publishing House

Founded 2011
The edition is registered by the Federal Service of Intercommunication and Mass Media Control
Mass media registration certificate
EL № FS 77 - 63681,
issued November 10, 2015.

International Journal of Advanced Studies: Transport and Information Technologies is **included** in the List of leading peer-reviewed scientific journals and publications issued in the Russian Federation, which should publish main scientific results of doctor's and candidate's theses

Indexing and Abstracting:
RSCI
Ulrich's Periodicals Directory
Google Scholar
DOAJ
BASE
WorldCat
OpenAIRE
IPRbooks
Znanium
Lan'

Editorial Board Office:
9 Maya St., 5/192, Krasnoyarsk, 660127, Russian Federation
E-mail: ijas@ijournal-as.com
http://ijournal-as.com/
+7 (923) 358-10-20

Subscription index in the General catalog «SIB-Press» – 63681

Свободная цена
© Научно-инновационный центр, 2022

Editorial Board Members

Sunil Kumar Yadav, M.Sc. (Mathematics), Ph.D. (Differential Geometry), Assistant Professor (Alwar Institute of Engineering & Technology, India).

Yong Lee, Ph. D., Professor, School of Computer Science and Technology (Harbin Institute of Technology (HIT), China).

Tatiana V. Avdeenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automated Control Systems, Leading Researcher (Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation).

Vitaly N. Vasilenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Technology (Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation).

Alexey V. Voropay, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Department «Machine Parts and Theory of Machines and Mechanisms» (Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov, Ukraine).

Vladimir A. Dresvyannikov, Doctor of Economics, Assistant Professor, Professor of the Department of Management and Marketing (Penza Branch of the Financial University under the Government of the Russian Federation, Penza, Russian Federation).

Elena V. Erokhina, Doctor of Economics, Professor of Economics and Organization of Production (Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, Russian Federation).

Sultan V. Zhankaziev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research (Moscow Automobile And Road Construction State Technical University, Moscow, Russian Federation).

Nikolay S. Zakharov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automotive and Technological Machines Service (Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation).

Sergey V. Kosyakov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Software for Computer Systems (Ivanovo State Energy University named after V.I. Lenin, Ivanovo, Russian Federation).

Andrey V. Kochetkov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Expertise and Risk Assessment (Russian Road Research Institute, Moscow, Russian Federation).

Mikhail N. Krasnyanskiy, Doctor of Technical Sciences, Rector (Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation).

Aleksey L. Manakov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department "Technology of Transport Engineering and Machine Operation", Rector (Siberian Transport University, Novosibirsk, Russian Federation).

Boris Yu. Serbinovskiy, Doctor of Economics, Professor of the Department of Systems Analysis and Management of the Faculty of High Technologies (Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation).

Boris S. Sergeev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department "Electric Machines" (Ural State Transport University, Yekaterinburg, Russian Federation).

Habibulla Turanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department "Stations, Knots and Cargo Work" (Ural State Transport University, Yekaterinburg, Russian Federation).

Ilya A. Khodashinsky, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Complex Information Security of Electronic Computing Systems (Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russian Federation).

Vyacheslav P. Shuvalov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Discrete Communications and Metrology (Siberian State University of Telecommunications and Informatics, Novosibirsk, Russian Federation).

Nikolai N. Yakunin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Motor Transport (Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation).

Члены редакционной коллегии

Sunil Kumar Yadav, M.Sc. (Mathematics), Ph.D. (Differential Geometry), Assistant Professor (Alwar Institute of Engineering & Technology, India).

Yong Lee, Ph. D., Professor, School of Computer Science and Technology (Harbin Institute of Technology (HIT), China).

Авдеенко Татьяна Владимировна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры АСУ, вед. науч. сотрудник НОЦ ИИТБ (Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Российская Федерация).

Василенко Виталий Николаевич, доктор технических наук, профессор, декан Технологического факультета (Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Российская Федерация).

Воропай Алексей Валерьевич, кандидат технических наук (PhD), доцент, доцент кафедры Деталей машин и ТММ (Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина).

Дресвянников Владимир Александрович, доктор экономических наук, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Менеджмент и маркетинг» (Пензенский филиал Финансового университета при Правительстве РФ, Пенза, Российская Федерация).

Ерохина Елена Вячеславовна, доктор экономических наук, профессор кафедры экономики и организации производства (Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Российская Федерация).

Жанказиев Султан Владимирович, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Российская Федерация).

Захаров Николай Степанович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сервиса автомобилей и технологических машин (Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация).

Косяков Сергей Витальевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой программного обеспечения компьютерных систем (ФГБОУ ВО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина", Иваново, Российская Федерация).

Кочетков Андрей Викторович, доктор технических наук, профессор, начальник отдела экспертизы и оценки риска (ФАУ «РОСДОРНИИ», г. Москва, Российская Федерация).

Краснянский Михаил Николаевич, доктор технических наук, ректор (Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Российская Федерация).

Манаков Алексей Леонидович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин», ректор (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения», г. Новосибирск, Российская Федерация).

Сербиновский Борис Юрьевич, доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры системного анализа и управления факультета высоких технологий (Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация).

Сергеев Борис Сергеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры "Электрические машины" (ФГБОУ ВО Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Российская Федерация).

Туранов Хабибулла Туранович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры "Станции, узлы и грузовая работа" (ФГБОУ ВО Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Российская Федерация).

Ходашинский Илья Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем (Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Российская Федерация).

Шувалов Вячеслав Петрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Передачи дискретных сообщений и метрологии (Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск, Российская Федерация).

Якунин Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильного транспорта (Оренбургский государственный университет, Оренбург, Российская Федерация).

DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-2-7-20
УДК 656.13

РОБАСТНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

А.А. Власов

Точная и своевременная информация о текущих и прогнозных параметрах транспортных потоков является важным условием функционирования интеллектуальных транспортных систем. Использование качественных данных позволит эффективнее решать задачу адаптивного управления транспортными потоками, снизить время движения, повысить точность планирования маршрутов поездок и в целом повысить эффективность использования транспортной инфраструктуры.

В данной статье представлено исследования воздействия светофорных объектов на регистрацию параметров транспортных потоков детекторами транспорта. Установлено, расположение зоны контроля детекторов транспорта в пределах участка формирования очереди транспортных средств ведет к искусственному зашумлению собираемых данных. Обосновано использования робастного прогноза параметров транспортного потока при решении задач адаптивного управления транспортными потоками.

Показано решение задачи робастного прогноза интенсивности движения с использованием модели LightGBM, основанной на алгоритме градиентного бустинга. Пространство признаков модели включало лаг интенсивности движения, дату и время полученных данных, признаки выходного дня и идентификатор группы полос движения. Робастность прогноза обеспечена за счет использования при вычислении функции ошибки модели сглаженного временного ряда методом LOWESS, при подаче на вход модели исходного, не сглаженного временного ряда.

Обученная на реальных данных модель имеет свойства робастности прогноза интенсивности движения, обеспечила фильтрацию стохастических колебаний и выбросов измеренных. При этом различает особенности суточных профилей для рабочих и выходных дней на всех группах полос, запаздывание прогноза наблюдалось только при наличии существенного отклонения наблюдаемой интенсивности от суточного тренда.

Ключевые слова: *робастный прогноз транспортного потока; градиентный бустинг; глубокое обучение; интеллектуальные транспортные системы; адаптивное управление транспортными потоками*

ROBUST FORECASTING OF TRAFFIC FLOW INTENSITY

A.A. Vlasov

Accurate and timely information about current and forecast parameters of traffic flows is an important condition for the functioning of intelligent transport systems. The use of high-quality data will make it possible to solve the problem of adaptive traffic flow management more effectively, reduce travel time, improve the accuracy of travel route planning, and generally improve the efficiency of using transport infrastructure.

This article presents studies of the impact of traffic light objects on the registration of traffic flow parameters by transport detectors. It is established that the location of the control zone of transport detectors within the area of the formation of the queue of vehicles leads to artificial noise of the collected data. The use of robust forecast of transport flow parameters in solving problems of adaptive traffic flow management is justified.

The solution of the problem of robust traffic intensity prediction using the LightGBM model based on the gradient boosting algorithm is shown. The feature space of the model included the traffic intensity log, the date and time of the data received, the weekend

features, and the lane group ID. The robustness of the forecast is ensured by using the smoothed time series model error function using the LOWESS method, when applying the original, non-smoothed time series to the model input.

The model trained on real data has properties of robustness of the traffic intensity forecast, provided filtering of stochastic fluctuations and outliers of the measured ones. At the same time, it distinguishes the features of the daily profiles for working and weekend days in all groups of bands, the forecast delay was observed only if there was a significant deviation of the observed intensity from the daily trend.

Keywords: r*obust traffic flow prediction; gradient boosting; deep learning; intelligent transport systems; adaptive traffic flow control*

Введение

Снижение уровня загруженности дорог является приоритетной задачей для городов во всем мире, и в последние десятилетия существенное внимание уделено совершенствованию методов прогнозирования параметров транспортных потоков в контексте развития интеллектуальных транспортных систем (ИТС) и адаптивного управления транспортными потоками [1]. Эффективность ИТС в основном определяется качеством информации о дорожном движении, предоставляемой заинтересованным участникам дорожного движения, и способностью ее применять для разработки стратегии развития транспортной системы, систем управления и моделей дорожного движения.

Краткосрочное прогнозирование параметров транспортных потоков является важным элементом функционирования ИТС, при этом получение точного прогноза является сложной задачей, главным образом из-за динамического, сложного и стохастического характера движения транспорта. Сложности, связанные с прогнозированием транспортных потоков, определяются природой предметной области. Она включает множество ограничений, налагаемых транспортной инфраструктурой в виде пропускной

способности дорог, правил дорожного движения и управления движением, поведение отдельных агентов (участников дорожного движения), а также экзогенные факторы, такие как периоды активности участников движения (т. е. время суток, день недели и т.д.), погода, аварии и инциденты, закрытие дорог и т.д.

Набор данных для построения модели прогноза

Набор данных сформирован на основе измерений параметров транспортных потоков детекторами транспорта, установленными на пересечении проспекта Непокоренных и Гражданского проспекта г. Санкт-Петербург. Данные получены в период с марта по май 2020 года и включали интенсивность движения по полосам движения, агрегированные по 15 минут.

При решении задачи адаптивного управления светофорным объектом требуется дополнительная агрегация данных по группам полос (рисунок 1). Группы полос с номерами 3, 5 и 7 специализированы на пропуске левоповоротных потоков, а с номерами 1, 2, 4 и 6 – потоков прямого направления и совершающих правый поворот.

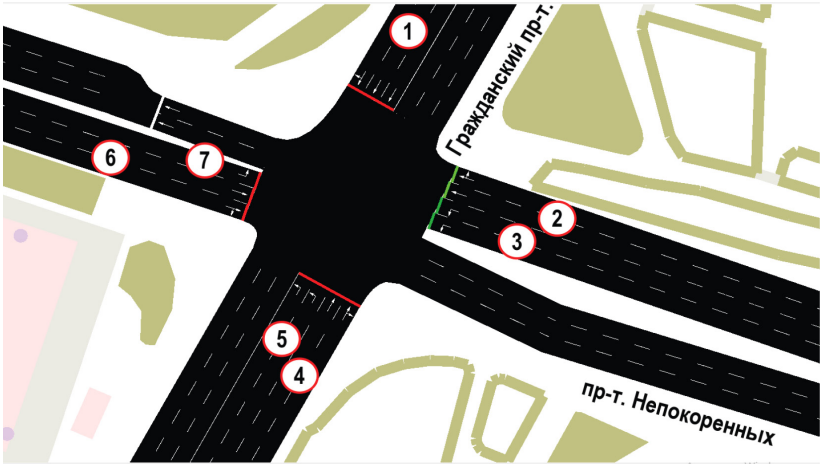


Рис. 1. Нумерация групп полос на пересечении проспекта Непокоренных и Гражданского проспекта г. Санкт-Петербург

Первичный анализ набора данных показал их существенную волатильность (рисунок 2). В относительном исчислении она составляет от 10 до 40%, что затрудняет использование полученных данных для принятия решений по управлению транспортным потоком без предварительной обработки.

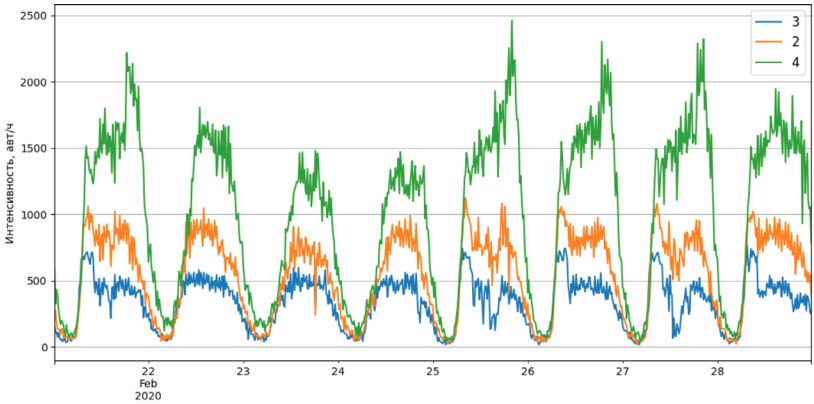


Рис. 2. Интенсивность движения по группам полос с 21.02.2020 по 29.02.2020

Набор данных содержат существенные выбросы в наблюдаемых данных, связанных по всей видимости, с работой детекторов транспорта (рисунок 3).

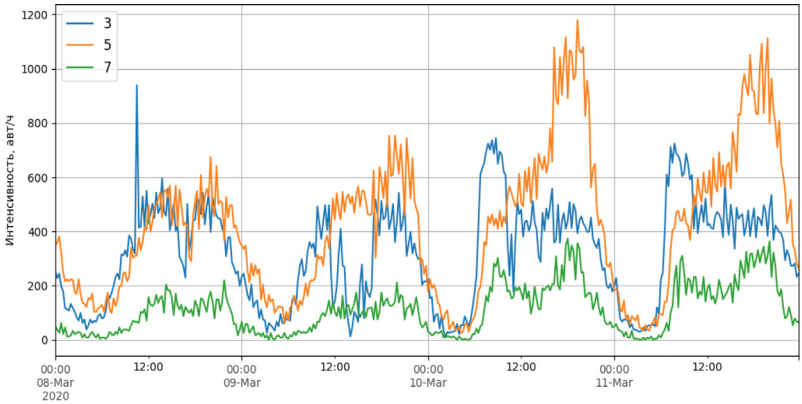


Рис. 3. Интенсивность движения по группам полос с 08.03.2020 по 12.03.2020

При построении моделей прогноза параметров транспортного потока исследователи стремятся наиболее точно воспроизвести наблюдаемые параметры, однако следует учитывать, что средства измерения могут вносить существенные искажения в наблюдаемый процесс.

Моделирование воздействия светофорных объектов на регистрацию интенсивность движения детекторами транспорта

Расположение детекторов транспорта на улично-дорожной сети, как правило, определяется решаемыми задачами по управлению транспортными потоками [7]. При адаптивном управлении светофорными объектами детекторы транспорта как правило располагаются на расстоянии от 60 до 180 м от пересечения. Детекторы транспорта фактически располагаются в зоне формирования очереди транспортных средств перед регулируемым перекрестком, что создает риск внесения существенных искажений в наблюдаемые параметры транспортного потока.

Для изучения влияния светофорных объектов на регистрируемую детекторами транспорта интенсивность движения использовано микроскопическое имитационное моделирование в программе SUMO (Simulation of Urban Mobility) [2]. Моделирование включало три этапа: подготовку транспортной сети, транспортного спроса и сценария моделирования; собственно, имитацию; составление отчетов и обработку результатов.

Для исследования использована модель пересечения ул. Измайлова и ул. Стрельбищенская г. Пензы (рисунок 4) со сгенерированным искусственно транспортным спросом. Интенсивность движения менялась каждый час моделирования по ул. Измайлова в диапазоне от 700 до 1500 авт/ч, по ул. Стрельбищенская от 300 до 600 авт/ч. Управление светофорным объектом производилось по алгоритму поиска разрыва в транспортном потоке.

Для регистрации параметров транспортного потока на расстоянии 50-60 м от стоп-линии были размещены виртуальные детек-

торы транспорта. По ул Измайлова со стороны ул. Антонова на расстоянии 500 от стоп-лини организована дополнительная зона детектирования. Агрегация данных производилась с периодом 300 с. Результаты имитации сохранялись в файл с расширением xml, который затем использован для анализа результатов.

Рис. 4. Микроскопическая модель пересечения ул. Измайлова и ул. Стрельбищенская г. Пензы

На рисунке 5 приведены результаты измерения интенсивности движения детекторами, расположенными на входе в перекресток.

Полученные значения интенсивность движения имеют существенные стохастические колебания, отклонение от истинных значений на измеренной интенсивности движения достигает 10-20%. Для зоны контроля, удаленной от светофорного объекта на 500 м. наблюдались выбросы измеренных значений на уровне 10-12% в моменты смены величины истинного транспортного спроса, в остальных периодах ошибка не превышала 2,5%.

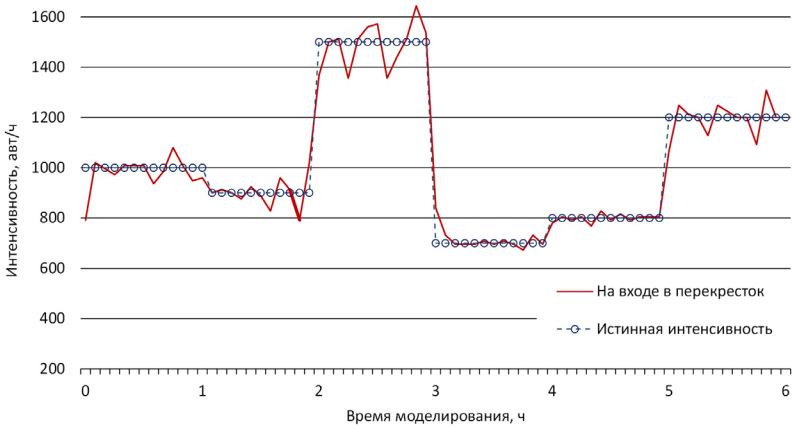


Рис. 5. Результаты измерения интенсивности движения на входе в перекресток

Размещение зоны учета параметров движения транспортных потоков в пределах участка формирования очереди транспортных средств ведет к зашумлению полученных данных, усилению стохастической составляющей. Результаты имитационного моделирования свидетельствуют о необходимости использования методов робастного прогноза параметров транспортного потока при решении задач адаптивного управления транспортной системой.

Методы получения краткосрочного прогноза параметров транспортного потока

Методы краткосрочного прогнозирования трафика в широком смысле подразделяются на параметрические и непараметрические подходы построения моделей прогноза [3, 4]. Наибольшую известность среди параметрических моделей имеет модель авторегрессионного интегрированного скользящего среднего (ARIMA) [4]. Однако основным предположением, используемым моделью ARIMA, является стационарность среднего, дисперсии и автокорреляции. Параметры транспортного потока, как правило, имеют выраженную

периодичность в суточном и недельном цикле, а также быстрые колебания, связанные с воздействием прочих внешних факторов. По этой причине ARIMA малоприменима для решения реальных задач прогнозирования параметров транспортного потока.

Непараметрические подходы предполагают использование методов машинного обучения для построения модели прогноза. Для решения задач прогноза параметров транспортного потока используются решения, основанные на ансамблях решающих деревьев (Random Forest) [5], градиентном бустинге [6], методе опорных векторов [7, 8] и нейронных сетях преимущественно с архитектурой LSTM или GRU [9].

В пространство признаков модели вводятся как структурированные переменные, такие как исторические данные интенсивности движения, погодные условия [10], так и слабо формализованные, как например информация из социальных сетей о наличии инцидентов [11, 12, 13, 14].

Обзор имеющихся решений не показал существенного превосходства ни одного из приведенных методов решения задачи прогнозирования параметров транспортных потоков. По всей видимости, определяющее значение имеет подготовка данных и набор переменных в пространстве признаков модели.

Разработка модели краткосрочного прогноза интенсивности движения

Для построения модели прогноза интенсивности движения использована библиотека LightAutoML [15], разработанная лабораторией искусственного интеллекта Сбербанка (Sberbank AI Lab AutoML). Данная библиотека построена на основе известных библиотек градиентного бустинга и линейной регрессии, имеет реализацию автоматической подготовки данных, настройки и оптимизация модели прогноза.

При проектировании модели стояла цель получения легко интерпретируемую структуру с достаточным для использования при адаптивном управлении транспортными потоками качеством про-

гноза. В пространство признаков модели были включены следующие переменные:

– текущая интенсивность движения, включающая историю из 10 отсчетов (лагов);
– дата и время получения данных. Кодирование данной переменной не производилось, что позволило LightAutoML сформировать дополнительные перпеменные модели, такие как признаки выходного дня.
– номер группы полос, так как интенсивность в течении для существенно различается по направлениям движения.

Обучение модели проводилось на 25 группах данных (*folds*), включающих обучающие и тестовые выборки. В качестве функции ошибки при обучении модели и метрики оценки результатов прогноза была выбрана MAE:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left| obs_i - pred_i \right|}{n},$$

где obs_i – наблюдаемая интенсивность движения на интервале i; $pred_i$ – прогноз интенсивности движения на интервале i; n – количество интервалов в выборке.

Для обеспечения робастности прогноза в качестве наблюдаемой интенсивности движения при вычислении функции ошибки модели использовался посуточно сглаженный ряд методом LOWESS [16]. При этом данные, подаваемые на вход модели прогноза брались из исходного, не сглаженного временного ряда.

Оптимизация с помощью LightAutoML структуры модели прогноза интенсивности движения дала блендинг двух методов LightGBM и LightGBM_tuned в соотношении 1:2.

Из первоначального набора данных выделены несколько последних дней, не используемых при обучении для которых выполнен контрольный прогноз интенсивности движения (рисунок 6).

Модель достаточно хорошо справилась с прогнозом интенсивности движения, различая особенности суточных профилей для рабочих и выходных дней на всех группах полос. Обеспечена ро-

бастность прогноза путем фильтрации стохастических колебаний и выбросов, измеренных детекторами транспорта данных. Запаздывание прогноза наблюдалось только при наличии существенного отклонения от суточного тренда.

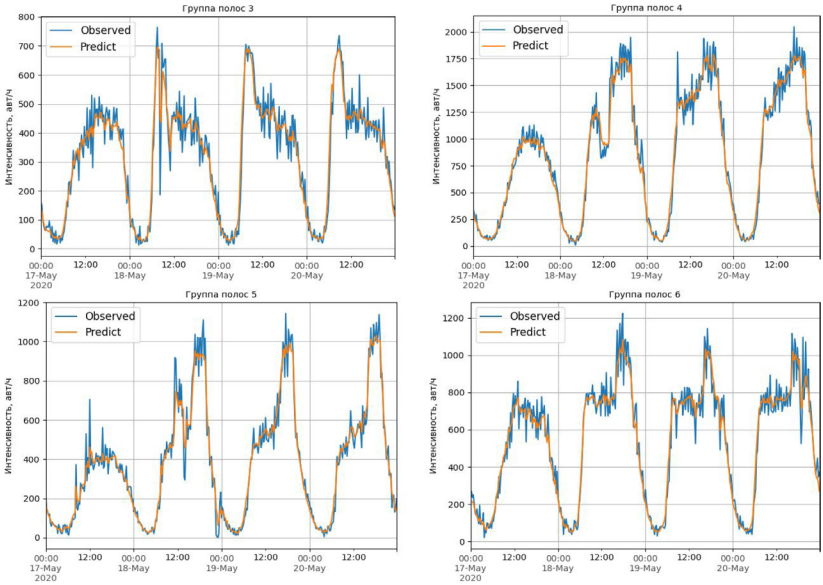


Рис. 6. Прогноз интенсивности движения по группам полос в период с 17.05.2020 по 21.05.2020: Observed – данные, полученные с детекторов транспорта; Predict – результаты прогноза интенсивности движения

Заключение

Краткосрочный прогноз параметров транспортных потоков, включая интенсивность движения является сложной технической задачей в следствие сложности транспортной системы как объекта наблюдения и управления в целом. Кроме того, данные о параметрах транспортных потоков в городах, содержат существенный шум, привнесенный особенностями размещения и функционирования системы контроля параметров транспортных потоков.

Модель краткосрочного прогноза параметров транспортного потока должна иметь функции робастности и обеспечивать фильтрацию

шумов искусственного происхождения и выбросов, возникающих в результате сбоев в работе детекторов транспорта. Указанным требованиям отвечают модели, основанные на градиентном бустинге и обученные с использованием предложенного подхода к формированию признаков модели и вычислению функции ошибки.

Полная оценка качества прогноза интенсивности движения требует проведения дополнительных исследований, включающих имитацию работы систем адаптивного управления транспортными потоками и оценку задержки транспортных средств.

Благодарности. Выражаем благодарность ООО «РИПАС» и лично Подозерову Н.Е. за предоставленные данные интенсивности движения.

Список литературы / References

1. Essien, A., Petrounias, I., Sampaio, P., Sampaio, S.: Deep-PRESIMM: Integrating Deep Learning with Microsimulation for Traffic Prediction. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics.* IEEE Xplore, 2019, pp. 1–6.
2. Krajzewicz, D., Erdmann, J., Behrisch, M., Bieker, L.: Recent Development and Applications of SUMO – Simulation of Urban Mobility. *International Journal on Advances in Systems and Measurements*, 2012, vol. 5 (3&4), pp.128-138.
3. Lana, I., Del-Ser, J., Velez, M., Vlahogianni, E.I.: Road traffic forecasting: recent advances and new challenges. *IEEE Intell. Transp. Syst. Mag.,* 2018, vol. 10, pp. 93–109. https://doi.org/10.1109/MITS.2018.2806634
4. Smith, B.L., Williams, B.M., Keith Oswald, R.: Comparison of parametric and nonparametric models for traffic flow forecasting. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies,* 2002, vol. 10, pp. 303–321. https://doi.org/10.1016/S0968-090X(02)00009-8
5. Liu, Y., Wu, H.: Prediction of Road Traffic Congestion Based on Random Forest. *2017 10th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)*. IEEE, 2017, pp. 361–364.

6. Dong, X., Lei, T., Jin, S., Hou, Z.: Short-Term Traffic Flow Prediction Based on XGBoost. *2018 IEEE 7th Data Driven Control and Learning Systems Conference (DDCLS)*. IEEE, 2018, pp. 854–859.
7. Wang, X., An, K., Tang, L., Chen, X.: Short term prediction of freeway exiting volume based on SVM and KNN. *International Journal of Transportation Science and Technology*. 2015. https://doi.org/10.1260/2046-0430.4.3.337
8. Philip, A.M., Ramadurai, G., Vanajakshi, L.: Urban arterial travel time prediction using support vector regression. *Transportation in Developing Economies,* 2018, vol. 4, 7. https://doi.org/10.1007/s40890-018-0060-6
9. Fu R., Zhang Z., Li L. Using LSTM and GRU neural network methods for traffic flow prediction. Chinese Association of Automation, 2017, pp. 324-328.
10. Essien, A., Petrounias, I., Sampaio, P., Sampaio, S.: The impact of rainfall and temperature on peak and off-peak urban traffic. *International Conference on Database and Expert Systems Applications*. Springer, Cham. 2018, pp. 399–407.
11. Goh, G., Koh, J., Zhang, Y.: Twitter-Informed Crowd Flow Prediction. *2018 IEEE Conference on Data Mining Workshops (ICDMW)*. 2018. pp. 624–631.
12. Ni, M., He, Q., Gao, J.: Using social media to predict traffic flow under special event conditions. *The 93rd annual meeting of transportation research board.* 2014.
13. Wongcharoen, S., Senivongse, T.: Twitter analysis of road traffic congestion severity estimation. *2016 13th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering*, JCSSE 2016. IEEE 2016, pp. 1–6.
14. Essien, A., Petrounias, I., Sampaio, P. et al. A deep-learning model for urban traffic flow prediction with traffic events mined from twitter. *World Wide Web. 2020.* https://doi.org/10.1007/s11280-020-00800-3
15. LightAutoML – automatic model creation framework. URL: www.github.com/sberbank-ai-lab/LightAutoML (дата обращения 30.05.2021)

16. Cleveland, William S.. LOWESS: A program for smoothing scatterplots by robust locally weighted regression. *The American Statistician*. 1981, vol. 35 (1), 54. https://doi.org/10.2307/2683591

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Власов Алексей Александрович, доцент кафедры «Организация безопасности движения», кандидат технических наук
ФГБОУ ВО Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
ул. Германа Титова, 28, г. Пенза, Пензенская область, 440028, Российская Федерация
vlasov_a71@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Alexey A. Vlasov, Associate Professor «Organization of traffic safety», Candidate of Technical Sciences
Penza State University of Architecture and Building
28, Herman Titov Str., Penza, Penza Region, 440028, Russian Federation
vlasov_a71@mail.ru

Поступила 11.03.2022 Received 11.03.2022
После рецензирования 25.03.2022 Revised 25.03.2022
Принята 07.04.2022 Accepted 07.04.2022

DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-2-21-35
УДК 629.023

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМОБИЛЯ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Л.А. Кияшко, В.А. Ксенофонтова

Статья посвящена совершенствованию методики экспертизы эксплуатации автомобилей в экстремальных условиях, возникающих при дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Большой интерес в области безопасности дорожного движения представляют собой задачи определения причин ДТП и условий, при которых они происходят. Существуют компьютерные системы, позволяющие моделировать процессы взаимодействия автомобильных транспортных средств с препятствиями и между собой при ДТП. Основу этих разработок составляют различные математические модели процесса столкновения автомобилей. Наиболее достоверными и перспективными являются системы, которые основаны на методах анализа пластических деформаций и разрушения элементов конструкции автомобиля при ДТП. Основу этих методов составляет закон сохранения энергии или модель перехода кинетической энергии движущегося транспортного средства в потенциальную энергию деформированной после ДТП конструкции. Этот процесс описывается с помощью параметра – энергетический эквивалент скорости. Проведен анализ объекта исследования – автомобильных кузовных конструкций. Они могут быть классифицированы, как тонкостенные оболочечные конструкции, которые легко пластически деформируются. Имеющиеся методы решения задач анализа упруго-пластических деформаций в таких конструкциях не позволяют обеспечить высокую точность решения, необходимую для экспертизы ДТП.

***Цель** – усовершенствование методики проведения автотехнической экспертизы ДТП.*

 Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

Метод или методология проведения работы: *решение обратных задач механики сплошных сред.*

Результаты: *разработан вариант конечно-элементного представления конструкции и методика вариационного подхода к определению энергетических критериев исследуемого процесса. Он обеспечивает наибольшую точность решения поставленных задач.*

Область применения результатов: полученные результаты целесообразно применять при проведении проведения автотехнической экспертизы ДТП.

Ключевые слова: энергия деформации; пластические и упругие деформации; эксперимент; скорость деформирования; моделирование

RESEARCH OF DEFORMATION AND DESTRUCTION OF CAR ELEMENTS UNDER EXTREME CONDITIONS

L.A. Kiyashko, V.A. Ksenofontova

The article is devoted to the improvement of the methodology for the examination of the operation the vehicles in extreme conditions that occur during road traffic accidents (RTA). Of great interest in the field of road safety are the tasks of determining the causes of RTA and the conditions under which they occur. There are computer systems that allow modeling the processes of interaction automobile vehicles with obstacles and among themselves during an accident. These developments based on various mathematical models of the car collision process. The most reliable and promising are systems that based on methods for analyzing plastic deformations and destruction of car structural elements during an accident. The basis of these methods is the law of conservation energy or the model of the transition of the kinetic energy of a moving vehicle into the potential energy of a structure deformed after an accident. This process described with the help of the parameter – the energy equivalent of the speed. The analysis of the object is study – automobile body structures carried out. They classified

as thin-walled shell structures that are easily plastically deformed. The available methods for solving the problems of analysis the elastic-plastic deformations in such structures do not allow providing the high accuracy of the solution necessary for the examination of the RTA.

***Purpose** – improvement of the methodology for conducting an autotechnical examination of an accident.*

***Methodology:** solution of inverse problems of continuum mechanics.*

***Results:** a variant of the finite element representation of the design and a method of the variational approach to determining the energy criteria of the process under study were developed. It provides the greatest accuracy in solving the tasks.*

***Practical implications:** it is expedient to apply the obtained results when carrying out an autotechnical examination of an accident.*

***Keywords:** strain energy; plastic and elastic deformations; experiment; strain rate; modeling*

Введение

В условиях постоянно увеличивающегося парка автомобилей растет количество дорожно-транспортных происшествий. В вязи с этим необходимо усовершенствовать методику экспертизы внештатных условий эксплуатации автомобильных транспортных средств.

Известны методы решения задач, связанных с упруго-пластической деформацией оболочечных конструкций типа кузов автомобиля, позволяющие проводить автотехническую экспертизу дорожно-транспортных происшествий [4, 6…9, 13, 14]. Разработанная методика основана на решении обратных задач механики сплошных сред и состоит из следующих задач:

– анализ деформаций поврежденного кузова автомобиля;
– определение границ зон пластических деформаций;
– определение перемещений точек деформированных поверхностей;
– представление функций перемещений интерполяционными полиномами;

– интегрирование функционала энергии в перемещениях для больших упруго-пластических деформаций.

Анализ задач для пластически-деформированных конструкций

Конструкция автомобильного кузова имеет несколько особенностей по сравнению с другими инженерными конструкциями [5]. Во-первых, она изготовлена из мягких сталей, допускающих большие пластические деформации, что обусловлено технологией изготовления (штамповка, сварка). Во-вторых, элементы конструкции, в том числе элементы жесткости: лонжероны, пороги, стойки и др., представляют собой комбинации листового материала и изготовлены из листа толщиной до 1 мм, хотя могут иметь в сечении сложную форму.

Для того, чтобы описать и восстановить процесс деформации поврежденной конструкции кузова автомобиля, необходимо использовать несколько методов и схем деформирования конструкций, т.к. при решении данной задачи требуется комбинация нескольких методов и задач.

Для анализа процесса деформации кузова автомобиля при ДТП будем рассматривать обратную задачу механики сплошных сред [3], которая заключается в определении причин, вызвавших деформации, а не в определении деформаций по заданным силам (прямая задача). Исходными данными являются результаты замеров величин остаточных деформаций элементов конструкции автомобиля, попавшего в ДТП [7].

Типовые модели повреждений элементов кузова приведены на рисунке 1.

Для решения задачи необходимо определить энергию деформации, затраченную на преобразование первоначальной конфигурации конструкции в имеющуюся, при этом для нашей задачи следует учитывать не только энергию пластических (остаточных) деформаций, но и энергию, затраченную на упругую деформацию и часть энергии, перешедшую в тепло [2]. Сумма этих энергетических затрат составит часть кинетической энергии, которую имел автомобиль до удара (часть кинетической энергии автомобиля обычно поглощается процессом торможения и другими кинетическими движениями).

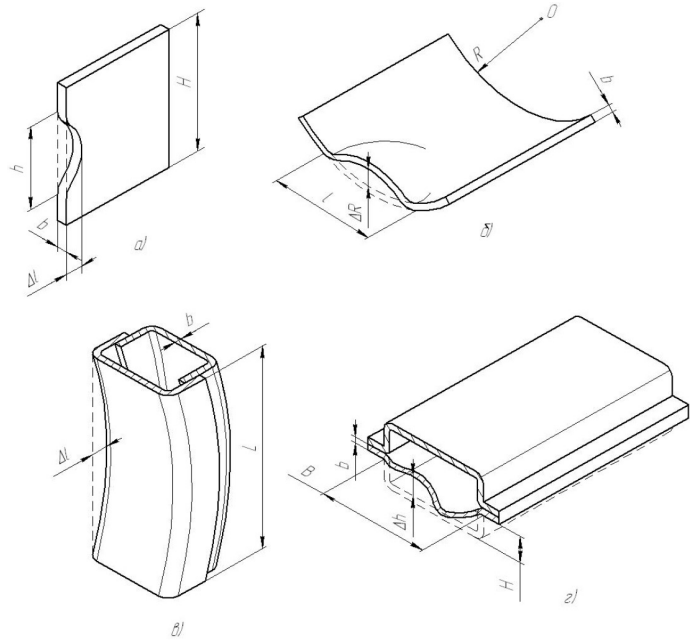


Рис. 1. Типовые модели повреждений элементов кузова

Рассматриваемая задача пластического деформирования при конечных деформациях обладает геометрической и физической нелинейностью [14, 15].

Таким образом, разрабатываемый здесь подход состоит из следующих задач:

1) Сканирование поврежденных узлов и деталей.
2) Определение точных границ зон пластических деформаций.
3) Определение законов распределения интенсивности напряжений (деформаций) в пластических зонах.
4) Определение упругой составляющей конструкции в целом.
5) Определение энергетического эквивалента скорости.

Если первая задача не представляет трудностей, то для решения задач 2–5 необходимо рассмотреть задачи упруго-пластического деформирования автомобильных конструкций.

Решение задачи первоначального упругого контактирования

При воздействии на любую поверхность автомобиля или какой-нибудь другой конструкции сосредоточенной силой P, рисунок 2, в ней возникают упругие напряжения и деформации, которые можно оценить энергией, затраченной на их производство.

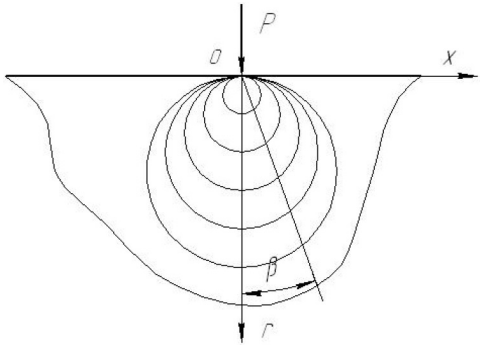


Рис. 2. Упругое воздействие на поверхность автомобиля сосредоточенной силой

Для любых случаев выражения энергии упругих деформаций (через напряжения σ или деформации ε) всегда можно определить ее величину с помощью выражений [2]:

$$W_{УПР} = \frac{E\nu}{2(1+\nu)(1-2\nu)} \iiint_V [(\varepsilon_X + \varepsilon_Y + \varepsilon_Z)^2 + G(\varepsilon_X^2 + \varepsilon_Y^2 + \varepsilon_Z^2) + \frac{1}{2} G(\gamma_{XY}^2 + \gamma_{ZX}^2 + \gamma_{YZ}^2)]dv; \quad (1.1)$$

$$W_{УПР} = \frac{1}{2E} \iiint_V [(\sigma_X + \sigma_Y + \sigma_Z)^2 + \iiint_V [(\sigma_X + \sigma_Y + \sigma_Z)^2 + 2(1+\nu)(\tau_{XY}^2 + \tau_{XZ}^2 + \tau_{YZ}^2 - \sigma_Y\sigma_Z - \sigma_Z\sigma_X - \sigma_X\sigma_Y)]dv; \quad (1.2)$$

$$W_{УПР} = \frac{E\nu}{2(1+\nu)(1-2\nu)} \iiint_V \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}\right)^2 + G\left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2\right] + \frac{1}{2} G\left[\left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)^2\right]\right\} dv, \quad (1.3)$$

где E, ν – упругие константы материала;

$G = \dfrac{E}{2(1+\nu)}$ – параметр Ляме;

ε, γ – компоненты деформированного состояния;

σ – компоненты напряжений;

u, *v*, *w* – перемещение;

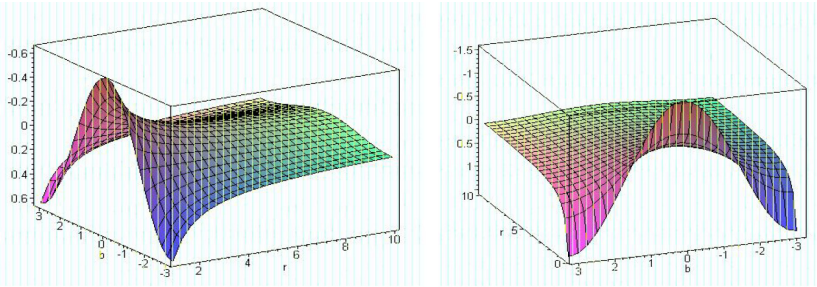
$W_{УПР}$ – энергия упругого деформирования.

Для задачи, представленной на рисунке 2 были рассмотрены различные варианты изменения переменных *r* и β, рисунок 3.

Подстановка решения этой задачи в (1.2) даст $W_{УПР}$ контактного воздействия силой *P* на поверхность *X*=0 [3]

$$\sigma_r = -\frac{2P}{\pi r}\cos\beta. \tag{1.4}$$

Дальнейшее развитие задачи представляет собой взаимодействие реального элемента конструкции *A*, рисунок 4, силой F_1 на упруго-деформируемую поверхность *X=0* элемента конструкции *B*.



а) б)

Рис. 3. Варианты решения контактной задачи

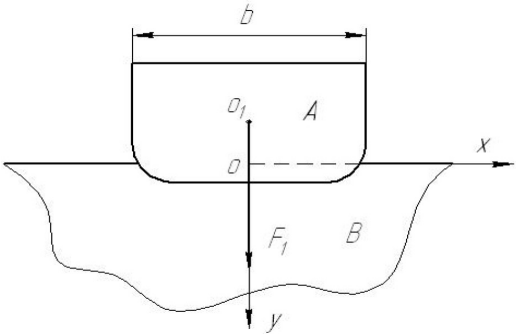


Рис. 4. Контактная задача воздействия на поверхность автомобиля распределенной силой

После прекращения действия активных сил, вызвавших пластическую деформацию в теле, форма тела будет изменена [6].

Решение задачи имеет вид [4]:

$$\sigma_Y = -\frac{4F_1}{3\pi\left(\frac{b}{2}\right)^4}\left(\left[\left(\frac{b}{2}\right)^2 + 2x^2\right]\sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 - x^2}\right). \quad (1.5)$$

Подобный метод индентора основан на зависимости [5, 8]

$$\sigma_i = (0.32...0.37)HB, \quad (1.6)$$

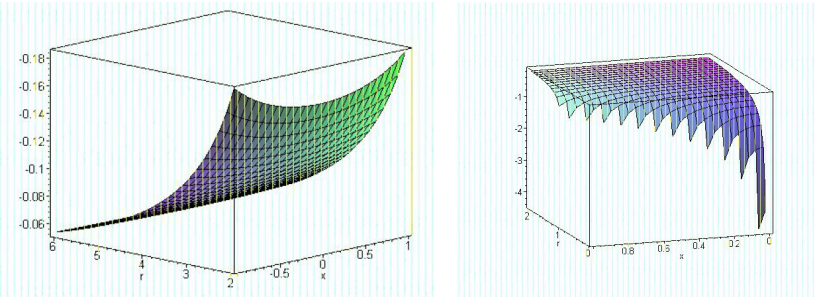
где *HB* – твердость по Бринеллю.

Измеряя *HB* в различных точках деформированного элемента конструкции, можно определить компоненты напряженно-деформированного состояния зоны деформации. При использовании этого метода предварительно строят тарировочный график $\sigma_i - HB$ на образцах материала, нагружаемого статически. По результатам измерения *HB* определяют удельную потенциальную энергию деформации [7, 13]

$$Э_{УД} = \exp[(\ln HB - \ln B)m], \quad (1.7)$$

где *B* и *m*– эмпирические константы.

Различные варианты решения задачи представлены на рисунке 5.



а) б)

Рис. 5. Решение контактной задачи для реального контакта

В случае, если контактирование осуществляется плоским элементом конструкции П на тело В (рисунок 6), решение этой задачи имеет следующий вид:

$$\sigma_Y = \frac{F_2}{\pi\sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 - x^2}}. \tag{1.8}$$

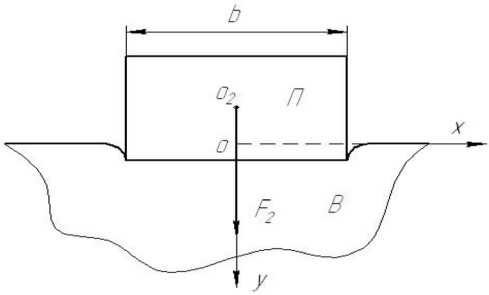


Рис. 6. Контакт с плоской деталью препятствия

Решение этой задачи представлены на рисунке 7.

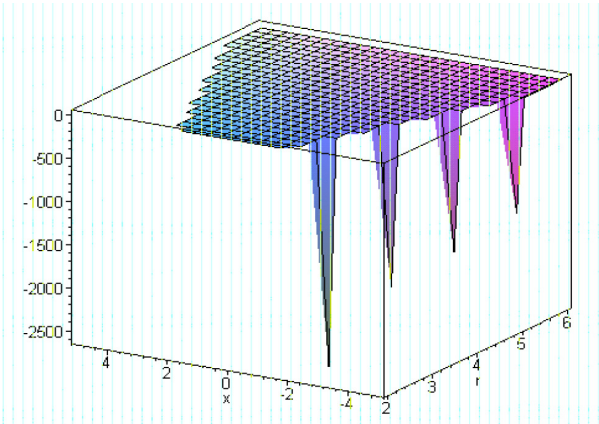


Рис. 7. Решение контактной задачи для плоского случая

Решение задачи для упругого взаимодействия автомобиля с неподвижным препятствием

При ударе на автомобиль действуют инерционные силы, приведенные условно к составляющим m_1j, m_2j, m_3j, расположенным от точки контакта А на расстоянии l_1, l_2, l_3 соответственно.

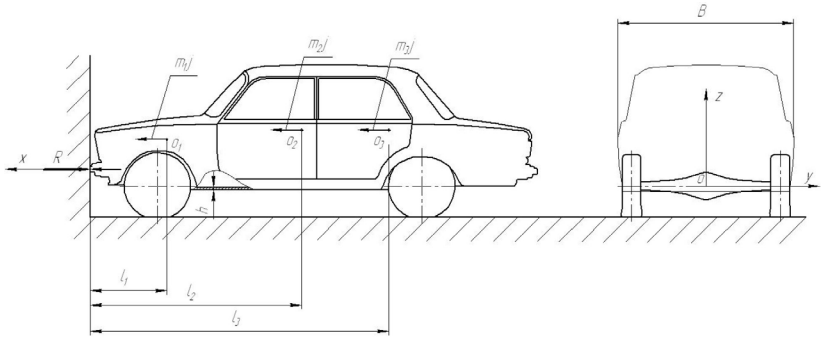


Рис. 8. Упругое взаимодействие автомобиля с неподвижным препятствием

Количество приведенных масс может быть уточнено в каждом конкретном случае (это зависит от конструктивных особенностей модели автомобиля), но в любом случае их сумма равна реакции опоры R

$$R = \sum_{i=1}^{n} m_i j, \tag{1.9}$$

где j – ускорение (замедление), величина неизвестная при ударе.

В координатной системе x, y, z процесс взаимодействия конструкции с препятствием описывается уравнением [4, 12].

$$\nabla^2 \nabla^2 u_Z = -\frac{12R(1-\nu^2)}{Eh^3} \cdot \frac{\partial^2 u_Z}{\partial x^2}, \tag{1.10}$$

где u_Z – волна упругого изгиба, представляемая как

$$u_Z = a_{mn} \sin\frac{m\pi x}{l_3} \sin\frac{n\pi y}{B}, \tag{1.11}$$

где $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$;

E – модуль упругости материала кузова;

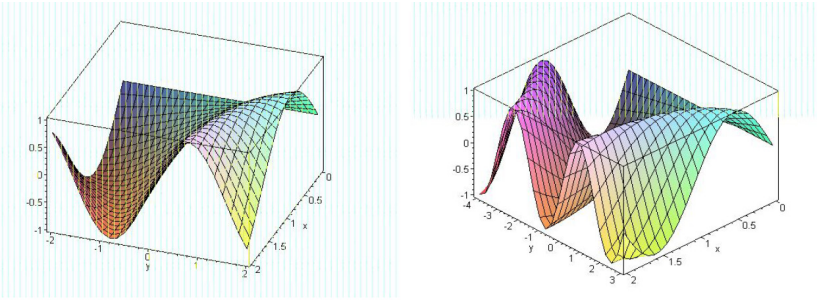
h – приведенная толщина лонжеронов;

ν – коэффициент Пуассона;

l_3 и B – размеры объекта.

Подстановка (1.11) в (1.3) дает искомую величину упругой деформации $W_{УПР}$.

Изменение U_Z при различных видах нагрузки представлено на рисунке 9.



а) б)

Рис. 9. Волна упругих деформаций

Заключение

Проведенный анализ объекта исследования – автомобильных кузовных конструкций показал, что они могут быть классифицированы, как тонкостенные оболочечные конструкции, легко пластически деформируемые.

Имеющиеся методы решения задач анализа упруго-пластических деформаций в таких конструкциях не позволяют обеспечить высокую точность решения, необходимую для экспертизы ДТП. Наибольшую точность решения поставленных задач обеспечивает методика вариационного подхода к определению энергетических критериев исследуемого процесса.

Список литературы

1. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. М.:Мир, 1987. 542 с.
2. Ветрогон А.А. Уточнение количества энергии поглощенной кузовом автомобиля при ДТП // Вестник СевГТУ. Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2014. Вып. 152: Машиноприборостроение и транспорт. С. 134-136.
3. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. М: Наука, 1980. 304 с.
4. Гольчевский В.Ф. Экспертное исследование прочностных свойств кузовов транспортных средств, подвергшихся конструктивным из-

менениям: монография. Иркутск: ФГКОУ ВПО ВСИ МВД РФ, 2015. С. 56-69.
5. Дэниэлс Д. Современные автомобильные технологии. М.: Астрель-АСТ, 2003. 223 с.
6. Ксенофонтова В.А. Анализ остаточных деформаций в элементах кузова легкового автомобиля методом прямого интегрирования / Ксенофонтова В.В., Аблаев А.Р., Аблаев Р.Р., Абрамова Л.С. // Международный журнал перспективных исследований, Т. 10, №1, 2020. С. 35-49.
7. Ксенофонтова В.А. Исследование процесса деформации кузова легкового автомобиля при наезде на неподвижное препятствие / В.А. Ксенофонтова, А.В. Бабкин, В.Н. Торлин // Автомобильный транспорт. Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2002. С. 56–58.
8. Ксенофонтова В.А. Исследование процесса диссипации энергии в элементах кузова автомобиля при дорожно-транспортных происшествиях / Ксенофонтова В.А., Аблаев А.Р., Аблаев Р.Р., Кияшко Л.А. // Мир транспорта и технологических машин. Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2020. № 2 (69). С. 56-62.
9. Ксенофонтова В.А. Методика определения скорости движения транспортного средства в момент столкновения по остаточным деформация элементов конструкции / Ксенофонтова В.А., Аблаев А.Р., Аблаев Р.Р. // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева. 2019. № 4-1 (336). С. 130-134.
10. Огородников В.А. Энергия. Деформация. Разрушение (Задачи автотехнической экспертизы). Винн.: Универсум, 2005. 204 с.
11. Смирнов-Аляев Г.А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. Л.: Машиностроение, 1978. 368 с.
12. Тимошенко С.П. Пластинки и оболочки. М.: Наука, 1984. 425 с.
13. Торлин В.Н. Конечно-элементный анализ энергопоглощающей способности кузова автомобиля // Вестник восточно-украинского национального университета им. В. Даля. Луганск: изд-во СНУ, 2006. №7. С.115-119.

14. Hiemer M., Barrho J. Observer design for road gradient estimation. Reports in Industrial Information Technology, Vol.7, Shaker Verlag, Aachen: pp. 23-30, 2004.
15. Nurkhaliesa B.H., Halim S., Zulkepli M. Reconstruction of traffic accident scene using close-range photogrammetry technique. Geoinformation Science Journal, Vol. 10, No. 1, 2010, pp. 17-37.

References

1. Vasidzu K. *Variacionnye metody v teorii uprugosti i plastichnosti* [Variational methods in the theory of elasticity and plasticity]. M.: Mir, 1987, 542 p.
2. Vetrogon A.A. *Vestnik SevNTU* [Bulletin of SevNTU]. Sevastopol, Sevastopol: SevNTU PH, 2014. Issue. 152: Mechanical engineering and transport, pp. 134-136.
3. Galin L.A. *Kontaktnye zadachi teorii uprugosti i vjazkouprugosti* [Contact problems of the theory of elasticity and viscoelasticity]. M: Nauka, 1980, 304 p.
4. Golchevsky V.F. Gol'chevskij V.F. *Jekspertnoe issledovanie prochnostnyh svojstv kuzovov transportnyh sredstv, podvergshihsja konstruktivnym izmenenijam: monografija* [Expert study of the strength properties of vehicle bodies subjected to structural changes: monograph]. Irkutsk: FGKOU VPO VSI MVD RF, 2015, pp. 56-69.
5. Daniels D. *Sovremennye avtomobil'nye tehnologii* [Modern automotive technologies]. M.: Astrel-AST, 2003, 223 p.
6. Ksenofontova V.A., Ablaev R.R., Ablaev A.R., Abramova L.S. *Mezhdunarodnyj zhurnal perspektivnyh issledovanij* [International Journal of Advanced Studies], 2020, vol. 10, no. 1, pp. 35-49.
7. Ksenofontova V.A., Babkin A.V. Torlin V.N. *Avtomobil'nyj transport* [Automobile transport]. 2002. Issue. 6. Kharkov: PH of KhNADU, 2002, pp. 56–58.
8. Ksenofontova V.A., Ablaev A.R., Ablaev R.R., Kiyashko L.A. *Mir transporta i tehnologicheskih mashin* [World of transport and technological machines]. Oryol: Oryol State University. I.S. Turgenev, 2020, no. 2 (69), pp. 56-62.

9. Ksenofontova V.A., Ablaev A.R., Ablaev R.R. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii* [Fundamental and applied problems of engineering and technology]. Oryol: Oryol State University. I.S. Turgenev, 2019, no. 4-1 (336), pp. 130-134.
10. Ogorodnikov V.A. *Jenergija. Deformacija. Razrushenie (Zadachi avtotehnicheskoj jekspertizy)* [Energy. Deformation. Destruction (Tasks of autotechnical expertise). Winn.: Universum, 2005, 204 p.
11. Smirnov-Aljaev G.A. *Soprotivlenie materialov plasticheskomu deformirovaniju* [Resistance of materials to plastic deformation]. L.: Mashinostroenie, 1978, 368 p.
12. Timoshenko S.P. *Plastinki i obolochki* [Plates and shells]. M.: Nauka, 1984, 425 p.
13. Torlin V.N. *Vestnik vostochno-ukrainskogo nacional'nogo universiteta im. V. Dalja* [Bulletin of the East Ukrainian National University. V. Dahl]. Lugansk: SNU publishing house, 2006, no. 7, pp.115-119.
14. Hiemer M., Barrho J. *Reports in Industrial Information Technology*, vol. 7, Shaker Verlag, Aachen: 2004, pp. 23-30/
15. Nurkhaliesa B.H., Halim S., Zulkepli M. *Geoinformation Science Journal*, 2010, vol. 10, no. 1, pp. 17-37.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Кияшко Лариса Александровна, старший преподаватель кафедры Автомобильный транспорт Политехнического института
Севастопольский государственный университет
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация
LAKiyashko@sevsu.ru

Ксенофонтова Виктория Анатольевна, доцент кафедры Автомобильный транспорт Политехнического института, канд. техн. наук
Севастопольский государственный университет
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация
vaksenofontova.v@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Larisa A. Kiyashko, Senior Lecturer, Department Automobile Transport, Polytechnic Institute
Sevastopol State University
33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation
LAKiyashko@sevsu.ru

Victoria A. Ksenofontova, Associate Professor, Department Automobile Transport, Polytechnic Institute, Ph.D. tech. sciences, associate professor
Sevastopol State University
33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation
vaksenofontova.v@gmail.com
SPIN-code: 2786-9966

Поступила 13.04.2022
После рецензирования 15.04.2022
Принята 17.04.2022

Received 13.04.2022
Revised 15.04.2022
Accepted 17.04.2022

 Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-2-36-48
УДК 656

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПО КРИТЕРИЮ – ТРАВМИРОВАНИЕ ЧЕЛОВЕКА В ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЯХ

Т.В. Коновалова, А.Е. Литвинов, Э.Ю. Балаев, И.С. Сенин, М.П. Миронова

На безопасность дорожного движения оказывает влияние большое число факторов, к числу наиболее отрицательных факторов, относятся дорожно-транспортные происшествия и их последствия. В ДТП погибают и получают ранения все категории населения, что влечет за собой снижение численности населения страны и уровня здоровья, продолжительности жизни, продолжительности трудоспособного периода, искажение возрастной пирамиды. Существующие методы оценки мероприятий по повышению пассивной безопасности не в полной мере позволяют установить соответствие между характеристиками элементов конструкции автомобиля, обеспечивающими его пассивную безопасность и тяжестью последствий при ДТП.

***Цель** – определены основные критерии оценки конструкции транспортных средств в области обеспечения пассивной безопасности.*

***Метод или методология проведения работы:** в статье использовались математические и статистические методы анализа.*

***Результаты:** определены наиболее информативные параметры оценки тяжести травмирования человека в ДТП, распределены по группам опасности травмирования в ДТП элементы салона транспортного средства.*

***Область применения результатов:** Прикладные исследования в области послеаварийной безопасности транспортных средств; проведение опытно-конструкторских работ, направленных на со-*

здание новых наукоемких технологий производства деталей транспортных средств.

Ключевые слова: *безопасность транспортных средств; дорожно-транспортные происшествия; безопасность дорожного движения; пассивная безопасность транспортных средств; тяжесть травмирования; конструктивная безопасность автомобиля*

FEATURES OF PASSIVE SAFETY ASSESSMENT OF VEHICLES BY THE CRITERION – HUMAN INJURY IN ROAD TRAFFIC ACCIDENTS

T.V. Konovalova, A.E. Litvinov, E.Yu. Balaev, I.S. Senin, M.P. Mironova

Road safety is influenced by a large number of factors, among the most negative factors are traffic accidents and their consequences. In road accidents, all categories of the population die and are injured, which entails a decrease in the population of the country and the level of health, life expectancy, length of the working period, and the distortion of the age pyramid. Existing methods for evaluating measures to improve passive safety do not fully allow establishing a correspondence between the characteristics of the car's structural elements that ensure its passive safety and the severity of the consequences in an accident.

Purpose *– the main criteria for evaluating the design of vehicles in the field of passive safety are determined.*

Methodology: *the article used mathematical and statistical methods of analysis.*

Results: *the most informative parameters for assessing the severity of injury to a person in an accident were determined, the elements of the vehicle interior were divided into groups of injury hazard in an accident.*

Practical implications: *Applied research in the field of post-accident safety of vehicles; carrying out experimental design work aimed at creating new high-tech technologies for the production of vehicle parts.*

Keywords: *vehicle safety; traffic accidents; road safety; passive vehicle safety; injury severity; vehicle structural safety*

 Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

Проблема обеспечения безопасности современных легковых автомобилей имеет высокую социальную и экономическую значимость. Сокращение числа ДТП и числа пострадавших является основной задачей в системе обеспечения безопасности дорожного движения. В настоящее время широкое распространение получил термин «Менеджмент безопасности дорожного движения», в понятие которого входит оптимизация системы передвижения для всех пользователей автомобильных дорог, посредством выявления и учета уязвимости участников дорожного движения к получению тяжелых травм в ходе ДТП.

Однако существующие методы оценки мероприятий по повышению пассивной безопасности не в полной мере позволяют установить соответствие между характеристиками элементов конструкции автомобиля, обеспечивающими его пассивную безопасность и тяжестью последствий при ДТП. Результатом оценки мероприятий по повышению пассивной безопасности должен явиться интегральный показатель опасности аварии, который позволяет выявить наиболее травмоопасные элементы конструкции автотранспортных средств. А точная оценка серьезности травм позволит определить предел выносливости человеческого организма к воздействию ударных нагрузок в момент ДТП. Таким образом возможно оказывать влияние на оценочные критерии конструкции автомобиля и минимизировать травматизм на автомобильном транспорте.

В РФ национальным приоритетом является жизнь и здоровье людей. Однако существуют объективные факторы, которые влияют на ущерб от потери члена общества или временного выбытия его из сферы производства. Социально-экономический ущерб от ДТП оказывает негативное влияние на демографические показатели России, такие как: снижение численности населения страны и уровня здоровья, продолжительность жизни, продолжительность трудоспособного периода, искажение возрастной пирамиды. В ДТП погибают и получают ранения все категории населения. Распределение числа пострадавших на автомобильном транспорте по категориям участников ДТП в РФ, за аналогичный период расчетного года представлено в таблице 1.

Таблица 1.

Распределение числа пострадавших на автомобильном транспорте по категориям участников ДТП в РФ

Участники ДТП	2019, ноябрь			2018, ноябрь			2017, ноябрь		
	Всего ДТП	Погиб-ло, чел	Ранено, чел	Всего ДТП	Погиб-ло, чел	Ранено, чел	Всего ДТП	Погиб-ло, чел	Ранено, чел
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Водители и пассажиры легковых авто-мобилей	10230	1005	1359	10865	1067	14491	10482	1095	13945
Водители и пассажиры грузовых авто-мобилей	880	138	1074	999	143	1247	961	181	1188
Пешеходы	4811	526	4509	5169	602	4808	5968	721	5532
Мотоциклисты	85	13	83	53	10	49	69	19	69

Рис. 1. Абсолютные показатели состояния безопасности дорожного движения (водители и пассажиры легковых ТС)

Рис. 2. Абсолютные показатели состояния безопасности дорожного движения (ДТП с участием пешеходов)

Статистика свидетельствует, что в России в дорожно-транспортных происшествиях ежегодно погибает около тысячи человек из-за технических неисправностей транспортных средств. Следовательно, конструктивная безопасность транспортных средств не в полной мере учитывает факторы, которые могут повлиять на тяжесть последствий после ДТП.

Безопасность транспортных средств как одного из факторов возникновения ДТП влияет на безопасность дорожного движения в целом. Непрерывно модернизирующаяся конструкция ТС позволяет практически оперативно внедрять мероприятия по повышению ее безопасности. Одним из видов конструктивной безопасности автомобиля является пассивная безопасность. Она должна обеспечить ряд задач в случае ДТП:

1. Возможность сохранения жизни человека внутри салона;

2. Возможность снижения тяжести травмирования (как человека внутри салона, так и вне автомобиля, например, пешехода);

3. Беспрепятственную, экстренную эвакуацию людей из салона транспортного средства.

Пассивная безопасность является основным качественным показателем системы обеспечения конструктивной безопасности автотранспортных средств. Поэтому снижение вероятности травмирования человека в процессе дорожно-транспортного происшествия является основополагающим в функционировании системы обеспечения пассивной безопасности и ее подсистем. При этом основными показателями являются антропометрические данные человека, и способность тела человека выдерживать перегрузки.

Основные пути повышения пассивной безопасности легковых автомобилей можно разделить по группам требований, предъявляемых к пассивной безопасности транспортных средств:

Наиболее достоверно ПБ автотранспортного средства может быть оценена по тяжести травмирования человека при ДТП. Оценка тяжести травмирования базируется на данных по переносимости человеком перегрузок в момент ДТП в течение заданного интервала времени без получения травм, угрожающим жизни. Ре-

зультатом оценки пассивной безопасности является точная оценка тяжести травмирования человека в ДТП.

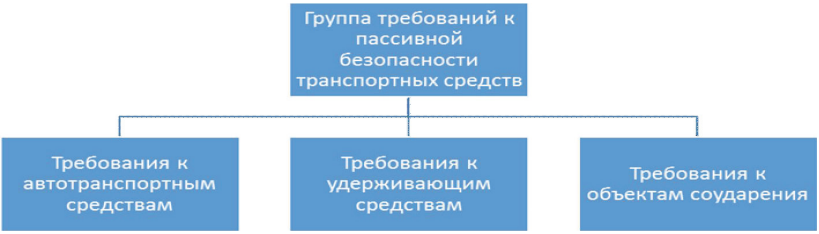


Рис. 3. Основная группа требований к пассивной безопасности транспортных средств

Тяжесть травмирования человека при ДТП можно определить, используя интегральный показатель, который учитывает данные о: действующих на человека перегрузках, длительности воздействия, скорости нарастания, направления действия и место приложения усилий ударных характеристик в момент ДТП. Это позволит определить насколько тот или иной элемент конструкции автомобиля опасен для водителя, пассажиров, пешеходов.

На основании исследований зарубежных ученых был проведен анализ травм, полученных пассажирами транспортных средств, в зависимости от источников их получения, представленный на рисунке 4.

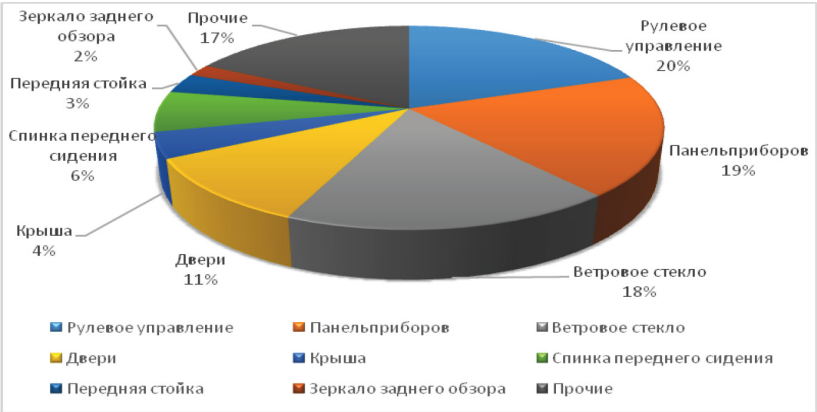


Рис. 4. Анализ основных источников травмирования человека

Анализ показал, что основной причиной получения тяжелых и смертельных травм являются удары о передний щиток и рулевую колонку – 20,23%. На втором месте – удары о панель приборов, на долю которой приходится 19,17% тяжелых травм и смертельных случаев. Кроме того, ветровое стекло – причина 18,7% травм (травмы черепа, сотрясение мозга и т. п.). При этом основными причинами смерти в ДТП водителя и пассажиров легковых автомобилей являются: выброс с сиденья, удары о рулевую колонку, о дверь, о ветровое стекло и о панель приборов.

Изучение статистических данных итальянских, американских и немецких исследователей позволило выявить элементы конструкции салона автомобиля, которыми наиболее часто травмируется человек. Распределение по группам опасности травмирования в ДТП представлено на рисунке 5.

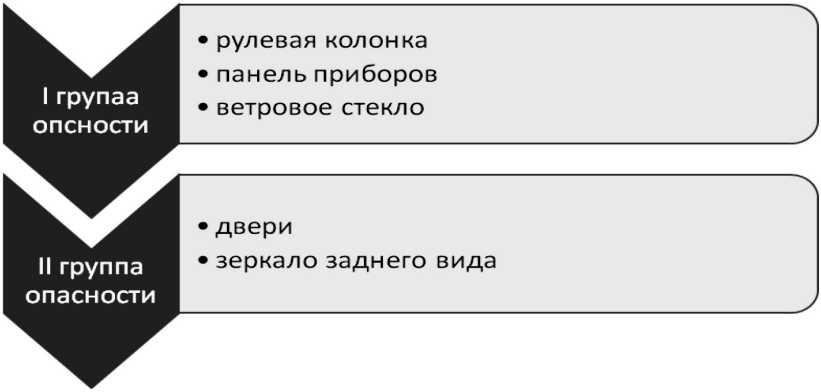


Рис. 5. Распределение по группам опасности травмирования в ДТП

Существующие сегодня и перспективные критерии, регламентирующие показатели пассивной безопасности охватывают небольшое количество всех видов ДТП. Применяемые принципы оценки не количественные, а качественные, что подразумевает под собой соответствие или не соответствие установленным нормативам. Методов обобщенной количественной оценки пассивной безопасности автомобиля практически не существует. Поэтому расширение сфе-

ры применения критериев безопасности на возможно больший диапазон разновидностей ДТП и учет антропологических параметров человека является наиболее существенным потенциальным путем снижения количества и тяжести травм при ДТП.

Список литературы

1. Анализ методов оценки пассивной безопасности легковых автомобилей / Батманов Э.З., Дмитриенко Ю.В. // Неделя науки – 2015: Сборник тезисов докладов XXXVI итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов; ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет». Под ред. Т.А. Исмаилова. 2015. С. 267-269.
2. Анализ тенденций развития систем пассивной безопасности в мировой автомобильной индустрии / Разговоров К.И. // Новые материалы и технологии в машиностроении. 2016. № 23. С. 80-83.
3. Батманов Э.З., Бегов Н.Б., Юсупжанова С.Р. Актуальные проблемы и перспективы развития дорожно-транспортного комплекса сборник научных трудов 3-й международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Махачкалинский филиал. 2017. С. 188.
4. Исследования в области оценки пассивной безопасности легковых автомобилей / Коновалова Т.В., Балаев Э.Ю.О., Миронова М.П., Потапов М.М. // Механика, оборудование, материалы и технологии: электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции. 2019. С. 639-643.
5. Классификация методов оценки пассивной безопасности легковых автомобилей / Комаров Ю.Я., Лемешкин А.В., Сильченков Д.Д. // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. 2014. Т. 9. № 19 (146). С. 53-55.
6. К вопросу о системах пассивной безопасности легковых автомобилей / Овчинников Д.А., Якубович И.А. // Актуальные проблемы науки и образования на современном этапе: Сборник научных

трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции. 2018. С. 167-170.
7. О суммарной оценке пассивной безопасности легковых автомобилей / Агаханов Э.К., Батманов Э.З. // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2012. № 3 (26). С. 67-72.
8. Повышение пассивной безопасности автотранспортных средств / Орлов Л.Н., Тумасов А.В., Багичев С.А. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2014. № 3 (105). С. 163-172.
9. Пути повышения эффективности системы обеспечения безопасности движения на автомобильном транспорте / Коновалова Т.В., Надирян С.Л. // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2015. № 4. С. 431-441.
10. Безопасность движения как подсистема транспортно-логистической системы региона / Коновалова Т.В., Котенкова И.Н. // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2013. Т. 2. № 2 (71). С. 275-279.
11. P. Kravchenko, E. Oleshchenko. Mechanisms of Functional Properties Formation of Traffic Safety Systems // 12th International Conference “Organization and Traffic Safety Management in large cities”, SPbOTSIC-2016, 28-30 September 2016, St. Petersburg, Russia. P. 367-372
12. E. Kurakina, S. Evtyukov. Results of studying road construction parameters condition // Architecture and Engineering. 2018. № 3 (1). P. 29-37.
13. R. George, I. Jana, K. Joseph. International student’s traffic engineering project seminar meps // The world of transport and technological machines. 2013. № 4 (43). С. 106-111.
14. Notchenko V.V., Lineva E.L. Assessment of the transport infrastructure of the region as a necessary condition for entrepreneurship development. // St. Petersburg State Polytechnic University Journal. Economics, 2015, vol. 211, pp. 172-181.
15. R. George, I. Jana, K. Joseph. International student’s traffic engineering project seminar meps // The world of transport and technological machines. 2013. № 4 (43). pp. 106-111.

References

1. Batmanov E.Z., Dmitrienko Yu.V. *Nedelya nauki – 2015: Sbornik tezisov dokladov XXXVI itogovoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii prepodavateley, sotrudnikov, aspirantov i studentov* [Week of Science - 2015: Collection of abstracts of the XXXVI final scientific and technical conference of teachers, staff, graduate students and students]; Dagestan State Technical University. Ed. T.A. Ismailov. 2015, pp. 267-269.
2. Razgovorov K.I. *Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii,* 2016, no. 23, pp. 80-83.
3. Batmanov E.Z., Begov N.B., Yusupzhanova S.R. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya dorozhno-transportnogo kompleksa sbornik nauchnykh trudov 3-y mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Actual problems and prospects for the development of the road transport complex collection of scientific papers of the 3rd international scientific and practical conference]. Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Makhachkala branch, 2017, p. 188.
4. Konovalova T.V., Balaev E.Yu.O., Mironova M.P., Potapov M.M. *Mekhanika, oborudovanie, materialy i tekhnologii: elektronnyy sbornik nauchnykh statey po materialam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Mechanics, equipment, materials and technologies: an electronic collection of scientific articles based on the materials of the international scientific and practical conference]. 2019, pp. 639-643.
5. Komarov Yu.Ya., Lemeshkin A.V., Sil'chenkov D.D. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Nazemnye transportnye sistemy*, 2014, vol. 9, no. 19 (146), pp. 53-55.
6. Ovchinnikov D.A., Yakubovich I.A. *Aktual'nye problemy nauki i obrazovaniya na sovremennom etape: Sbornik nauchnykh trudov po materialam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Proceedings of the Volgograd State Technical University. Series: Ground transport systems], 2018, pp. 167-170.
7. Agakhanov E.K., Batmanov E.Z. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki,* 2012, no. 3 (26), pp. 67-72.
8. Orlov L.N., Tumasov A.V., Bagichev S.A. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva,* 2014, no. 3 (105), pp. 163-172.

9. Konovalova T.V., Nadiryan S.L. *Elektronnyy setevoy politematicheskiy zhurnal "Nauchnye trudy KubGTU",* 2015, no. 4, pp. 431-441.
10. Konovalova T.V., Kotenkova I.N. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta,* 2013, vol. 2, no. 2 (71), pp. 275-279.
11. P. Kravchenko, E. Oleshchenko. Mechanisms of Functional Properties Formation of Traffic Safety Systems. *12th International Conference "Organization and Traffic Safety Management in large cities", SPbOTSIC-2016, 28-30 September 2016, St. Petersburg, Russia*. P. 367-372
12. E. Kurakina, S. Evtyukov. Results of studying road construction parameters condition. *Architecture and Engineering,* 2018, no. 3 (1), pp. 29-37.
13. R. George, I. Jana, K. Joseph. International student's traffic engineering project seminar meps. *The world of transport and technological machines,* 2013, no. 4 (43), pp. 106-111.
14. Notchenko V.V., Lineva E.L. Assessment of the transport infrastructure of the region as a necessary condition for entrepreneurship development. *St. Petersburg State Polytechnic University Journal. Economics*, 2015, vol. 211, pp. 172-181.
15. R. George, I. Jana, K. Joseph. International student's traffic engineering project seminar meps. *The world of transport and technological machines,* 2013, no. 4 (43), pp. 106-111.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Коновалова Татьяна Вячеславовна, заведующий кафедрой «Транспортных процессов и технологических комплексов», кандидат экономических наук, доцент

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»

ул. Московская, 2, г. Краснодар, Краснодарский края, 350072, Российская Федерация

m.mironova.2014@mail.ru

Литвинов Артем Евгеньевич, и.о. заведующего кафедрой «Наземного транспорта и механики», доктор технических наук, профессор

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
ул. Московская, 2, г. Краснодар, Краснодарский края, 350072, Российская Федерация
m.mironova.2014@mail.ru

Балаев Эътибар Юсиф оглы, старший преподаватель кафедры «Наземного транспорта и механики»
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
ул. Московская, 2, г. Краснодар, Краснодарский края, 350072, Российская Федерация
m.mironova.2014@mail.ru

Сенин Иван Сергеевич, старший преподаватель кафедры «Транспортных процессов и технологических комплексов»
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
ул. Московская, 2, г. Краснодар, Краснодарский края, 350072, Российская Федерация
m.mironova.2014@mail.ru

Миронова Мария Петровна, ассистент кафедры «Транспортных процессов и технологических комплексов»
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
ул. Московская, 2, г. Краснодар, Краснодарский края, 350072, Российская Федерация
m.mironova.2014@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Tatyana V. Konovalova, Head of the Department of Transport Processes and Technological Complexes, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor
Kuban State Technological University

2, Moskovskaya Str., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350072, Russian Federation
m.mironova.2014@mail.ru

Artem E. Litvinov, Acting Head of the Department of Land Transport and Mechanics, Doctor of Technical Sciences, Professor
Kuban State Technological University
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350072, Russian Federation
m.mironova.2014@mail.ru

Etibar Balaev, Senior Lecturer of the Department of Land Transport and Mechanics
Kuban State Technological University
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350072, Russian Federation
m.mironova.2014@mail.ru

Ivan S. Senin, Senior Lecturer of the Department of Transport Processes and Technological Complexes
Kuban State Technological University
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350072, Russian Federation
m.mironova.2014@mail.ru

Maria P. Mironova, Assistant of the Department of Transport Processes and Technological Complexes
Kuban State Technological University
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350072, Russian Federation
m.mironova.2014@mail.ru

Поступила 25.03.2022
После рецензирования 05.04.2022
Принята 11.04.2022

Received 25.03.2022
Revised 05.04.2022
Accepted 11.04.2022

DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-2-49-68
УДК 656

ЭЛЕМЕНТЫ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ВЛИЯНИЕ ИХ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, А.А. Изюмский, С.В. Коцурба

В данной статье авторы рассматривают вопросы дорожной инфраструктуры и влияние их на безопасность дорожного движения. Дорожная сеть влияет на риск дорожно-транспортных происшествий, поскольку определяет, как участники дорожного движения воспринимают окружающую среду. Основой для сопоставления ряда событий в дорожно-транспортном происшествии с категориями факторов, способствующих аварии.

***Цель** – определены меры и способы, с помощью которых можно достичь безопасного уровня дорог.*

***Метод или методология проведения работы:** в статье использовались натурный эксперимент, статистический анализ, теория риска.*

***Результаты:** определены факторы: повышающие безопасность дорожного движения, обеспечивающие комфортность среды для водителей и пешеходов, снижающие затраты на ремонт и конструкцию автомобильных дорог.*

***Область применения результатов:** выявление наиболее эффективных и первоочередных мероприятий по совершенствованию автомобильных дорог с целью обеспечения безопасности и комфортной среды. Научно-исследовательская деятельность по разработке новых подходов в области организации дорожного движения.*

***Ключевые слова:** автомобильные дороги; безопасная дистанция; безопасность дорожного движения; дорожное полотно; дорожно-транспортные происшествия; матрица Хэддона*

 Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

ELEMENTS OF ROAD INFRASTRUCTURE AND THEIR IMPACT ON ROAD SAFETY

T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, A.A. Izyumskiy, S.V. Kotsurba

In this article, the authors consider the issues of road infrastructure and their impact on road safety. The road network affects the risk of road accidents because it determines how road users perceive the environment. The basis for comparing a number of events in a traffic accident with categories of factors contributing to the accident.

***Purpose** – the measures and methods by which it is possible to achieve a safe level of roads are defined.*

***Methodology:** the article used a full-scale experiment, statistical analysis, risk theory.*

***Results:** the factors that increase road safety, provide a comfortable environment for drivers and pedestrians, and reduce the cost of repair and construction of highways are identified.*

***Practical implications:** identification of the most effective and priority measures to improve highways in order to ensure safety and a comfortable environment. Research activities on the development of new approaches in the field of traffic management.*

***Keywords:** highways; safe distance; road safety; roadbed; traffic accidents; Haddon matrix*

Факторы, влияющие на безопасность дорожного полотна играют важную роль в определении риска дорожно-транспортных происшествий. К негативным дорожно-техническим факторам относятся те факторы, которые непосредственно приводят к аварии, когда какой-либо элемент дорожной обстановки вводит в заблуждение участника дорожного движения. В частности, геометрия дороги влияет как на частоту, так и на тяжесть дорожно-транспортных происшествий. В этой связи оценка состояния дорожной инфраструктуры и последующий ее аудит должны проводиться

строго в соответствии с минимизацией риска дорожно-транспортных происшествий [1].

Дорожная сеть влияет на риск дорожно-транспортных происшествий, поскольку определяет, как участники дорожного движения воспринимают окружающую среду. Основой для сопоставления ряда событий в дорожно-транспортном происшествии с категориями факторов, способствующих аварии, является матрица Хэддона. Согласно матрице, разработанной доктором Уильямом Хэддоном в 1970 году, существует три различных типа факторов, способствующих дорожно-транспортным происшествиям [2]:

1. человеческий фактор;
2. факторы транспортного средства;
3. факторы дорожного полотна/окружающей среды.

В соответствии с исследованиями американской Ассоциация государственных должностных лиц автомобильных дорог и транспорта (AASHTO) только три процента (3%) дорожно-транспортных происшествий происходят на факторы дорожного движения, а тридцать четыре процента (34%) дорожно-транспортных происшествий являются сочетанием факторов дорожного движения и других факторов [3]. Графически это соотношение представлено на рисунке 1.

Исследования также показали, что дорога и факторы окружающей среды были причиной семнадцати процентов (17%) от общего числа аварий.

Безопасные дороги можно достичь с помощью мер, включающих усовершенствованное планирование, проектирование, строительство и эксплуатацию дорог с учетом соображений безопасности.

Геометрия дорожного полотна, параметры вертикального поперечного сечения проезжей части включают ширину полосы движения, ширину и тип обочины, а также сопротивление скольжению поверхности проезжей части существенно влияют на частоту дорожно-транспортных происшествий, а также в уровне тяжести аварий.

Рис. 1. Факторы, способствующие дорожно-транспортным происшествиям

Ширина полосы движения не только влияет на комфорт вождения и эксплуатационные характеристики дорожного полотна, но также является важным параметром, влияющим на частоту дорожно-транспортных происшествий, а также на тяжесть аварии.

Независимо от расположения дороги, будь то магистральная дорога или дорога местного значения, уменьшение ширины полосы движения приводит к резкому росту вероятности аварий. Например, было проведено исследование, в котором рассматривались риски безопасности на двухполосной дороге без разделительной полосы. Оно показало, что при увеличении ширины полосы движения с 2,75 метра до 3,65 метра вероятность лобовых столкновений или других связанных с ними аварий снижалось на пятьдесят процентов (50%) [4].

Данное исследование подтверждается многочисленными примерами по уширению участков федеральных дорог в Краснодарском крае, где уширение дороги позволило резко снизить аварийность. А на некоторых участках не было зафиксировано дорожно-транспортных происшествий с пострадавшими после проведения работ по уширению дороги.

Как правило, ширина обочины варьируется от 0,6 м до 3,6 м, но есть места, где обочину невозможно разместить. Хотя желательно, чтобы обочина была достаточно широкой, чтобы транспортное

средство могло полностью съехать с проезжей части, узкие обочины лучше, чем вообще без плеча. Одно исследование показало, что вероятность того, что дорога с обочиной шириной 60 см с каждой стороны имеет на тридцать процентов (30%) больше риска аварии, чем дорога с обочиной шириной 1,8 метра с каждой стороны [5].

Независимо от ширины, обочины должны быть непрерывными, а если это невозможно, то прерывистые обочины лучше, чем их отсутствие. Важность более широких обочин очень важна на двухполосных дорогах с двусторонним движением. Такие дороги часто расположены в горной местности, где создание широких обочин требует огромных затрат, примером таких мест это большинство трасс Краснодарского края, проходящих в горной местности, например, федеральная трасса «Дон» представленная на рисунке 2.

Рис. 2. Пример участка федеральной трассы «Дон»

Для двухполосной дороги с двусторонним движением, если среднесуточный объем движения превышает 2000, вероятность аварии при очень узкой ширине обочины или отсутствии приводит к ее резкому увеличению, достигая пятидесяти процентов (50%).

Тип обочин также определяет частоту аварий. Материал обочины и, следовательно, состояние поверхности оказывают, по крайней мере, некоторое влияние на возвращение сбившегося с пути водителя на полосу движения. Неудовлетворительное состояние

обочин может привести к увеличению числа аварий на десять процентов (10%) [6].

Безопасность дороги зависит не только от характеристик дорожного полотна и состояния обочины, но и от наличия «свободной зоны» («clear zone»). Термин «свободная зона» используется для обозначения беспрепятственной, проходимой зоны, предусмотренной за краем проезжей части. Свободная зона включает в себя обочины, велосипедные дорожки и любое дополнительное пространство, если таковое имеется. Вид «clear zone» («свободной зоны») представлен на рисунке 3.

Рис. 3. Вид «свободной зоны»

Чем больше ширина свободной зоны, тем больше места остается для маневра водителя, чтобы предотвратить вероятность столкновения; таким образом, большая свободная зона означает более безопасную дорогу. Примером трасс с широкой свободной зоной являются большинство трасс в степной зоне Краснодарского края, например, как участок трассы Краснодар-Новороссийск, представленный на рисунке 4.

Наличие разделительной полосы является еще одним важным фактором, определяющим аварии, особенно лобовые столкновения.

Большинство двухполосных автомагистралей не имеют разделительных барьеров, чтобы избежать снижения пропускной

способности проезжей части. Однако, разделительные барьеры крайне желательны на многополосных автомагистралях с точки зрения безопасности и эффективности эксплуатации.

Рис. 4. Пример участка трассы «Краснодар-Новороссийск»

Как правило, средняя ширина разделительной полосы колеблется от 1,2 до 4 метров. Чем шире разделительная полоса, тем лучше ситуация с безопасностью: Харки и др. провели исследования, которые показали, что многополосное шоссе с разделительной полосой шириной 3,0 метра имеет на четыре процента (4%) большую вероятность аварий, чем шоссе с разделительной полосой шириной 9,0 метра [7].

В последние годы в Краснодарском крае идет планомерная работа по оборудованию основных трасс разделительной полосой с барьерным ограждением. Наиболее хорошо это видно по федеральной трассе «Дон», где уже имеются участки, отвечающие требованиям, предъявляемым к автомагистрали, как показано на рисунке 5.

Даже для городских магистральных дорог одно из исследований показало, что переход от неразделенной городской магистрали к магистрали с разделительной полосой может привести в среднем к снижению числа дорожно-транспортных происшествий на десять процентов (10%) [8].

Рис. 5. Пример участка федеральной трассы «Дон», отвечающей требованиям к автомагистрали

В большинстве городов такие магистральные дороги расположены в новых районах, где были заранее отведены соответствующие площади (пример городской дороги с разделительной полосой в г. Новороссийске представлен на рисунке 6).

Рис. 6. Пример участка городской дороги с разделительной полосой в г. Новороссийске

Горизонтальная кривизна дорожного полотна важна, потому что, когда транспортное средство движется по круговой траектории, оно испытывает центростремительное ускорение, которое действует в направлении центра кривизны. Другими словами, центробежные силы пытаются сдвинуть транспортное средство с желаемой линии движения, то есть с изогнутой проезжей ча-

сти. Дороги на поворотах снабжены геометрическим элементом на изогнутой части проезжей части, известным как «super elevation» («супер-возвышение»). Другими словами, внешние стороны проезжей части на поворотах приподняты по отношению к внутренней части, так что компонент собственного веса транспортного средства помогает предотвратить движение транспортного средства в направлении наружу, как показано на рисунке 7.

Рис. 7. Вид «super elevation» («супер-возвышение»)

Примеры использования горизонтальной кривизны для обеспечения безопасности движения широко представлены на трассах, проходящих вдоль побережья Краснодарского края, как показано на рисунке 8, где приводится фотография участка федеральной трассы между г. Новороссийск и пгт. Кабардинка.

Скорость движения транспортного средства также является важным фактором. Если скорость перемещения транспортное средство превышает подходящий предел или расчетный предел кривой, затем транспортное средство теряет управление и может произойти серьезная “неуправляемая» авария. Например, на изогнутом участке двухполосного шоссе, если предусмотренный перепад высот ниже двух процентов (2%) от желаемого уровня, вероятность дорожно-транспортных происшествий возрастает на шесть процентов (6%) [9].

Рис. 8. Вид участка федеральной трассы между г. Новороссийск и пгт. Кабардинка

Кривые перехода используются между прямой частью дороги и круговыми кривыми. Этот переход обеспечивается за счет введения спиральных кривых. Если кривая перехода не предусмотрена должным образом, затем к транспортному средству внезапно будет приложена центробежная сила, и в зависимости от скорости и веса транспортного средства – это может привести к потере контроля над транспортным средством. Поэтому неправильная кривая перехода более опасна для более тяжелых и быстро движущихся транспортных средств

Вертикальные уклоны или кривизна вертикальных изгибов дорог также связаны с безопасностью дорожного движения. Когда предусмотрены более крутые склоны, управлять транспортным средством становится сложнее. Это более серьезная проблема для более тяжелых транспортных средств, таких как грузовики. Тяжелый грузовик замедляется, сталкивается с трудностями, взбираясь по крутым восходящим склонам. Это, в свою очередь, приводит к разнице скоростей между различными типами транспортных средств. На двухполосном шоссе, расположенном на крутом ре-

льефе, может произойти на 15% больше дорожно-транспортных происшествий, чем на аналогичной дороге, расположенной на ровном рельефе. Таким образом, наличие полосы для подъема (дополнительной полосы) для более тяжелых транспортных средств может снизить вероятность аварий на 25% на участке дороги с двумя полосами движения.

Выравнивание проезжей части оказывает большое влияние на безопасность дорожного движения, поскольку способность водителя видеть вперед необходима для безопасной эксплуатации транспортного средства и, следовательно, для общей безопасности системы. Расстояние обзора достаточной длины необходимо для того, чтобы водитель мог контролировать работу своих транспортных средств, чтобы избежать столкновения с неожиданным объектом на дороге. За рубежом эту дистанцию для безопасного совершения маневра водителем называют «Stopping Sight Distance (SSD)». Пример изменения дистанции для безопасного совершения маневра водителем «Stopping Sight Distance (SSD)» в зависимости от скорости движения представлен на рисунке 9.

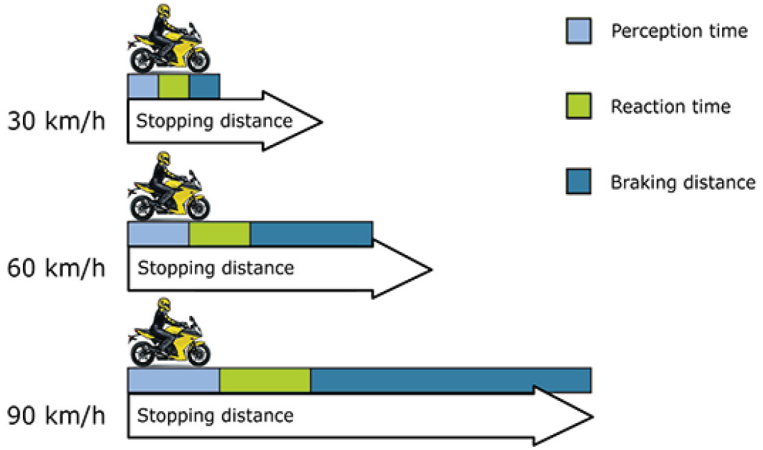


Рис. 9. Пример изменения дистанции для безопасного совершения маневра водителем «Stopping Sight Distance (SSD)» в зависимости от скорости движения

Еще одним понятием, принятым для оценки безопасной дистанции для водителя является дистанция прямой видимости, называемая за рубежом «Passing Sight Distance (PSD)» [2].

Для двухполосной дороге, где скорость составляет 60 км /ч, значение SSD и PSD составляет 85 метров и 180 метров соответственно на ровных дорогах. Расстояние видимости для ближнего света применимо к дорогам с двумя полосами движения, чтобы водители могли использовать полосу встречного движения для обгона (обгона) других транспортных средств, не создавая помех встречным транспортным средствам.

В то время как концепция SSD и PSD имеют первостепенное значение с точки зрения безопасности дорожного движения.

Во всем мире и у нас обеспечение безопасной дистанции происходит ограничением скорости и установкой предупреждающих знаков. В Краснодарском крае в последнее время стали широко применяются для этих целей стационарные дорожные радары с обратной связей для водителя в виде световой сигнала. Пример установки таких радаров с сигналами для водителей на подъезде к г. Горячий Ключ представлен на рисунке 10.

Рис. 10. Пример установки дорожных радаров с сигналами для водителей на подъезде к г. Горячий Ключ

В последние десятилетия в мире широкое распространение концепция «Access management» («Управление доступом») – это

концепция, согласно которой маневры и объемы транспортных средств, связанные с доступом, могут иметь серьезные последствия для эффективности дорожного движения и безопасности дорожного движения. Преимущества являются значительными, особенно в условиях городских улиц, где точек доступа множество, а объемы движения высоки.

Применение принципов «управления доступом» к существующим городским магистралям обычно приводит к снижению числа дорожно-транспортных происшествий на 30-60 процентов [1].

Наряду с концепцией «управления доступом» за рубежом нашла широкое распространение концепция «forgiving road side design» дословно переводится как концепция «щадящего дизайна обочины дороги». Концепция включает в себя создание четкой зоны восстановления движения автомобиля. Когда транспортное средство съезжает с проезжей части в результате аварии, водитель больше не имеет возможности полностью управлять транспортным средством [14]. В общем, это означает, что, когда водитель совершает ошибку из-за неизбежных обстоятельств, его или ее ошибки будут прощены концепцией. Концепция не должна применяться независимо к каждому элементу дорожной инфраструктуры, а должна быть принята в качестве комплексного подхода к проектированию автомагистралей [7].

В последние годы многие опасные участки трасс в Краснодарском крае стали приводить в соответсвие с этой концепцией. Пример применения концепции «forgiving road side design» в Краснодарском крае представлен на рисунке 11.

Базовые знания о человеке и ограничений его организма необходимо компенсировать безопасным проектированием дорожной инфраструктуры.

Данное утверждение привело к разработке подхода известного как «positive guidance» («позитивного руководства») при проектировании дорог и дорожной инфраструктуры [13]. Требования к обработке информации, выходящие за рамки возможностей водителей, перегружают и сбивают водителей с толку. Общей харак-

теристикой мест на дорогах с высоким уровнем риска является то, что они предъявляют большие или необычные требования к возможностям водителя по обработке информации [8].

Рис. 11. Пример применения концепции «forgiving road side design» в Краснодарском крае

Подход «позитивного руководства» означает, что проектирование дорог это основано на ограничениях и ожиданиях водителей, увеличивает вероятность того, что водители будут реагировать на ситуации по мере необходимости, тем самым предотвращая аварии. Потенциальное поведение водителя можно предвидеть в процессе проектирования дороги, чтобы оценить дизайн и, когда компромиссы уместны, следует применять. Правильно спроектированные автомагистрали, которые обеспечивают позитивное руководство для водителей, могут работать на высоком уровне безопасности и эффективности [9-12].

Дорожная инфраструктура играет жизненно важную роль в обеспечении безопасности дорожного движения. Хотя небольшая доля аварий вызвана исключительно факторами дорожного движения, значительное число так или иначе связано с факторами дорожного движения.

Знание параметров дорожного полотна, влияющих на безопасность дорожного движения, может помочь в планировании, проектировании, строительстве и обслуживании дорожной инфраструктуры для обеспечения безопасной дорожной обстановки. Проектирование дорог играет важную роль с точки зрения безопасности дорожного движения. Следует применять концепцию «щадящего дизайна обочин» и применять подход «позитивного руководства» для снижения частоты и тяжести дорожно-транспортных происшествий [15-16].

Все вышеперечисленные международные концепции постепенно вводятся и в нашей стране. Однако, зачастую отдельные решения, выполненные в соответствии с этими концепциями хоть и дают положительный результат в области повышения безопасности, но при комплексном применении могли бы значительно больше повысить безопасность наших дорог. Поэтому именно комплексное внедрение зарубежного опыта в области внедрения элементов дорожной инфраструктуры способно существенно повлиять на безопасность дорожного движения.

Список литературы

1. Balaev E.Yu., Konovalova T.V., Litvinov A.E., Nadiryan S.L., Senin I.S. Optimization of freight traffic in cities using the forecast transport model of freight traffic // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. VIII International Scientific Conference Transport of Siberia. 2020. 012045.
2. Konovalova T.V., Litvinov A.E., Nadiryan S.L., Senin I.S. Investigation of vehicle rollover accidents // Proceedings of the XIII International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020. Commemorating the 90th anniversary of Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering. Сер. “Lecture Notes in Civil Engineering” 2021. P. 347-355.
3. Mironova M., Mironova U., Konovalova T., Nadiryan S., Litvinov A. Methodology for assessing the effectiveness of work in the road sector // Safety in Aviation and Space Technologies. Select Proceedings of

the 9th World Congress “Aviation in the XXI Century”. Cham, 2022. P. 357-365.
4. P. Kravchenko, E. Oleshchenko. Mechanisms of Functional Properties Formation of Traffic Safety Systems // 12th International Conference “Organization and Traffic Safety Management in large cities”, SPbOTSIC-2016, 28-30 September 2016, St. Petersburg, Russia. P. 367-372
5. E. Kurakina, S. Evtyukov Results of studying road construction parameters condition // Architecture and Engineering. 2018. № 3 (1). P. 29-37.
6. R. George, I. Jana, K. Joseph International student’s traffic engineering project seminar meps // The world of transport and technological machines. 2013. № 4 (43). P. 106-111.
7. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ). 2004. Всемирный доклад о предотвращении дорожно-транспортного травматизма. Вашингтон, округ Колумбия.
8. Хэддон, У. Логистическая основа для классификации явлений и деятельности в области безопасности дорожного движения // Журнал травмы, Том 12, Липпинк Уильямс и Уилкинс, Вашингтон, округ Колумбия, 1972. С. 193-207.
9. Совещание Группы экспертов по прогрессу в повышении безопасности дорожного движения в Азиатско-Тихоокеанском регионе, 8-10 мая 2013 г., Сеул, Республика Корея. http://www.unescap.org/ttdw/common/Meetings/TIS/EGM-Roadsafety-2013/ppt/4.2.KEC.pdf
10. Глобальный план Десятилетия действий по обеспечению безопасности дорожного движения на 2011-2020 годы, Организация Объединенных Наций, Нью-Йорк. http://www.who.int/roadsafety/decade_of_action/план/план_английский.pdf
11. Зегир С. В., Рейнфурт В., Хаммер Дж. Херф Л. и Хантер У. Влияние ширины полосы движения и ширины обочины на снижение аварийности на сельских двухполосных дорогах. Отчет о транспортных исследованиях. Том 806. Исследовательский совет по транспорту. Вашингтон, округ Колумбия. 1988.
12. Изюмский А.А., Сенин И.С. Методы обеспечения экологичности схем организации дорожного движения. учебное пособие. Краснодар, 2018.

13. Коновалова Т.В., Котенкова И.Н., Миронова М.П., Надирян С.Л. Анализ работы транспортных систем. учебное пособие. Краснодар, 2019.
14. Повышение пассивной безопасности автотранспортных средств Орлов Л.Н., Тумасов А.В., Багичев С.А. Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2014. № 3 (105). С. 163-172.
15. Пути повышения эффективности системы обеспечения безопасности движения на автомобильном транспорте / Коновалова Т.В., Надирян С.Л. // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2015. № 4. С. 431-441.
16. Безопасность движения как подсистема транспортно-логистической системы региона / Коновалова Т.В., Котенкова И.Н. // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2013. Т. 2. № 2 (71). С. 275-279.

References

1. Balaev E.Yu., Konovalova T.V., Litvinov A.E., Nadiryan S.L., Senin I.S. Optimization of freight traffic in cities using the forecast transport model of freight traffic. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. VIII International Scientific Conference Transport of Siberia*. 2020. 012045.
2. Konovalova T.V., Litvinov A.E., Nadiryan S.L., Senin I.S. Investigation of vehicle rollover accidents. *Proceedings of the XIII International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020. Commemorating the 90th anniversary of Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering. Ser. "Lecture Notes in Civil Engineering"* 2021. P. 347-355.
3. Mironova M., Mironova U., Konovalova T., Nadiryan S., Litvinov A. Methodology for assessing the effectiveness of work in the road sector. *Safety in Aviation and Space Technologies. Select Proceedings of the 9th World Congress "Aviation in the XXI Century"*. Cham, 2022. P. 357-365.
4. P. Kravchenko, E. Oleshchenko. Mechanisms of Functional Properties Formation of Traffic Safety Systems. *12th International Conference*

"Organization and Traffic Safety Management in large cities", SPbOTSIC-2016, 28-30 September 2016, St. Petersburg, Russia. P. 367-372
5. E. Kurakina, S. Evtyukov Results of studying road construction parameters condition. *Architecture and Engineering*, 2018, no. 3 (1), pp. 29-37.
6. R. George, I. Jana, K. Joseph International student's traffic engineering project seminar meps. *The world of transport and technological machines,* 2013, no. 4 (43), pp. 106-111.
7. World Health Organization (WHO). 2004. World Report on Road Traffic Injury Prevention. Washington DC.
8. Haddon, W. Logistical basis for classification of events and activities in the field of road safety // Trauma Journal, Volume 12, 1972, pp. 193-207.
9. Expert Group Meeting on Progress in Improving Road Safety in Asia and the Pacific, 8-10 May 2013, Seoul, Republic of Korea. http://www.unescap.org/ttdw/common/Meetings/TIS/EGM-Roadsafety-2013/ppt/4.2.KEC.pdf
10. Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2011-2020, United Nations, New York. http://www.who.int/roadsafety/ decade_of_action/plan/plan_angliyskiy.pdf
11. Zegier S. W., Reinfurt W., Hammer J. Herf L. and Hunter W. Effect of lane width and shoulder width on crash reduction on rural two-lane roads. Transport Research Report. Volume 806. Transport Research Council. Washington DC. 1988.
12. Izyumskiy A.A., Senin I.S. Metody obespecheniya ekologichnosti skhem organizatsii dorozhnogo dvizheniya. uchebnoe posobie. Krasnodar, 2018.
13. Konovalova T.V., Kotenkova I.N., Mironova M.P., Nadiryan S.L. *Analiz raboty transportnykh sistem* [Analysis of the operation of transport systems]. Krasnodar, 2019.
14. Orlov L.N., Tumasov A.V., Bagichev S.A. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva,* 2014, no. 3 (105), pp. 163-172.
15. Konovalova T.V., Nadiryan S.L. *Elektronnyy setevoy politematicheskiy zhurnal "Nauchnye trudy KubGTU",* 2015, no. 4, pp. 431-441.
16. Konovalova T.V., Kotenkova I.N. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta,* 2013, vol. 2, no. 2 (71), pp. 275-279.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Коновалова Татьяна Вячеславовна, заведующий кафедрой «Транспортных процессов и технологических комплексов», кандидат экономических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
ул. Красная, 135, г. Краснодар, Краснодарский край, 350020, Российская Федерация
sofi008008@yandex.ru

Надирян София Левоновна, старший преподаватель кафедры «Транспортных процессов и технологических комплексов»
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
ул. Красная, 135, г. Краснодар, Краснодарский край, 350020, Российская Федерация
sofi008008@yandex.ru

Изюмский Александр Александрович, доцент кафедры «Транспортных процессов и технологических комплексов», кандидат технических наук
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
ул. Красная, 135, г. Краснодар, Краснодарский край, 350020, Российская Федерация
sofi008008@yandex.ru

Коцурба София Вячеславовна, студентка 2 курса магистратуры кафедры «Транспортных процессов и технологических комплексов»
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
ул. Красная, 135, г. Краснодар, Краснодарский край, 350020, Российская Федерация
sofi008008@yandex.ru

 Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

DATA ABOUT THE AUTHORS

Tatyana V. Konovalova, Head of the Department of Transport Processes and Technological Complexes, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor
Kuban State Technological University
135, Krasnaya Str., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350020, Russian Federation
sofi008008@yandex.ru

Sofiya L. Nadiryan, Senior Lecturer of the Department of Transport Processes and Technological Complexes
Kuban State Technological University
135, Krasnaya Str., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350020, Russian Federation
sofi008008@yandex.ru

Alexander A. Izyumsky, Associate Professor of the Department of Transport Processes and Technological Complexes, Candidate of Technical Sciences
Kuban State Technological University
135, Krasnaya Str., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350020, Russian Federation
sofi008008@yandex.ru

Sofiya V. Kotsurba, 2nd year graduate student of the Department of Transport Processes and Technological Complexes
Kuban State Technological University
135, Krasnaya Str., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350020, Russian Federation
sofi008008@yandex.ru

Поступила 12.04.2022 Received 12.04.2022
После рецензирования 15.04.2022 Revised 15.04.2022
Принята 17.04.2022 Accepted 17.04.2022

DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-2-69-85
УДК 004.422

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УЧЕТА ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Т.В. Рихтер, А.В. Белоус

В настоящее время цифровизация российской экономики предполагает автоматизацию основных производственных процессов, в том числе и учета оборудования на предприятии, поскольку применение современных информационных систем способствует оптимизации и повышению эффективности деятельности любой организации. Цифровые технологии в институциональной среде функционирования предприятий оказывают радикальное влияние на уровень его устойчивого развития и конкурентоспособность. Одним из эффективных средств, направленных на решение указанных задач является язык программирования C#, как основной язык разработки приложений для платформы Microsoft .NET.

***Цель** – выявление возможностей объектно-ориентированного языка программирования C# для автоматизации процесса учёта оборудования на предприятии.*

***Метод или методология проведения работы:** в статье использовались методы теоретического анализа и обобщения научно-исследовательских работ, значимость которых признана научным сообществом в области автоматизации процесса учёта оборудования на предприятии.*

***Результаты:** выявлены возможности объектно-ориентированного языка программирования C# для автоматизации процесса учёта оборудования на предприятии: авторизации пользователя, формирование отчетов, просмотр баз данных (справочников), использование параметризированных запросов.*

***Область применения результатов:** полученные результаты целесообразно применять предприятиями, осуществляющими производственную деятельность по учету оборудования.*

Ключевые слова: *производственная деятельность; учет оборудования на предприятии; язык программирования C#*

AUTOMATION OF THE EQUIPMENT ACCOUNTING PROCESS AT THE ENTERPRISE

T.V. Richter, A.V. Belous

Currently, the digitalization of the Russian economy involves the automation of the main production processes, including the accounting of equipment at the enterprise, since the use of modern information systems helps to optimize and improve the efficiency of any organization. Digital technologies in the institutional environment of the functioning of enterprises have a radical impact on the level of its sustainable development and competitiveness. One of the effective means aimed at solving these tasks is the C# programming language, as the main application development language for the Microsoft .NET platform.

Purpose. *Identification of the capabilities of the object-oriented C# programming language for automating the process of equipment accounting at the enterprise.*

Methodology *in article used methods of theoretical analysis and generalization of research papers, the importance of which is recognized by the scientific community in the field of automation of the process of equipment accounting at the enterprise.*

Results: *the possibilities of the object-oriented C# programming language for automating the process of equipment accounting at the enterprise are revealed: user authorization, reporting, viewing databases (directories), using parameterized queries.*

Practical implications *it is advisable to apply the results obtained by enterprises engaged in production activities for equipment accounting.*

Keywords: *production activity; accounting of equipment at the enterprise; C# programming language*

В настоящее время цифровизация российской экономики предполагает автоматизацию основных производственных процессов, в том числе и учета оборудования на предприятии, поскольку применение современных информационных систем способствует оптимизации и повышению эффективности деятельности любой организации.

Цифровые технологии в институциональной среде функционирования предприятий оказывают радикальное влияние на уровень его устойчивого развития и конкурентоспособность [7, с. 22].

Различные аспекты автоматизация процесса учета оборудования на предприятии рассмотрены в работах М.И. Бутова, В.В. Воробьева, А.Г. Добровольского, С.Г. Ермакова, М.С. Киселевой, Н.В. Кривоносовой, О.А. Нестеровой, С.В. Нефедьева, П.В. Николаева, Е.А. Романова, Н.Е. Терещенко, Н.Ф. Токаревой, И.Н. Фомина, Е.Р. Чуриковой, Я.В. Шершневой и др.

Существуют различные программные средства для автоматизации учета оборудования: SAP ERP, Инвентаризация, Hardware Inspector, Учет оборудования и ремонтов и др. Н.В. Бужинская и Н.О. Котелевец предлагают использовать для рассматриваемого процесса базы данных [3], А.А. Кокина – программу 1С: Предприятие [4]. Д.С. Сибгатулин описывает бизнес-процесс деятельности предприятия, занимающегося разработкой программного обеспечения по учету оборудования и этапы его автоматизации [9]. Е.П. Белоусова анализирует особенности разработанной модели и приложения для учета и распределения вычислительной техники на предприятии [2]. А.В. Лебедевская, Е.Г. Гумбар и М.Ю. Азаров рассматривают процесс автоматизации технического обслуживания и ремонта основных средств как основу снижения себестоимости продукции [6]. О.В. Сизова, А.В. Жаворонкова и В.Е. Мизонов моделируют процесс расчета показателей экономичности оборудования [10].

Одним из эффективных средств, направленных на решение указанных задач является язык программирования C#, как основной язык разработки приложений для платформы Microsoft

.NET. Его основные функциональные возможности, особенности и недостатки рассмотрены в работах А.В. Аверченкова, В.В. Андреевой, А.Е. Болгова, С.Н. Борцова, Д.Д. Галиуллина, В.В. Кургасова, Е.А. Леонова, М.А. Лосевой, Ю.А. Малахова, А.Е. Петелина, С.И. Самохиной, Н.П. Федотовой и др.

C# поддерживает все основные принципы объектно-ориентированного программирования: инкапсуляцию, наследование и полиморфизм [1]. У.О. Никитина и Р.С. Зарипова проводят сравнительный анализ языков C++ и C# [8]. А.Э. Шепелева анализирует особенности применения программных пакетов и языка C# в инженерных расчетах [11]. М.М. Краснов разрабатывает библиотеку функционального программирования для языка C++ [5].

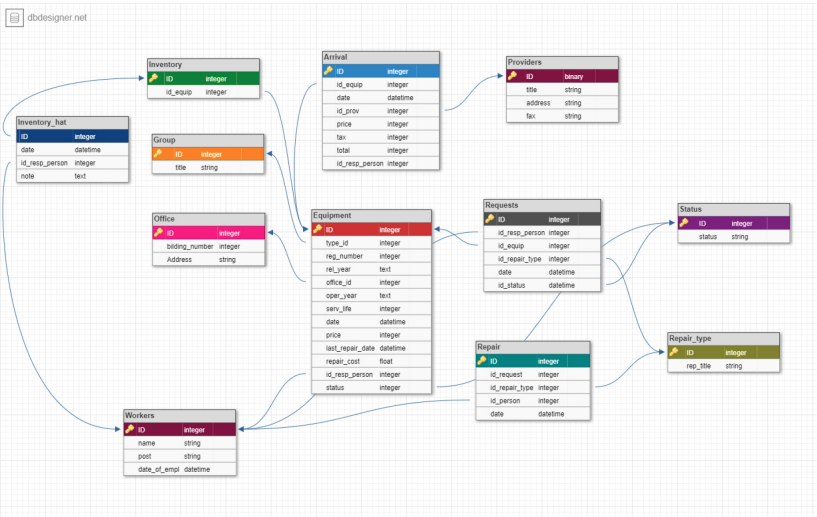


Рис. 1. Структура БД оборудования

Для языка C++ существуют популярные инструменты рефакторинга [12], такие как Proteus [13] и Eclipse C++ Tooling [14]. Исследования показывают, что по сравнению с другими популярными языками программирования обучение языкам C/C++ труднее [15], при этом в C/C++ проще допустить ошибку [16].

Проектирование процесса автоматизации системы учета оборудования на предприятии включает описание структуры базы данных оборудования и работников (рис. 1, 2, табл. 1, 2), для создания которой использовалась интегрированная среда разработки MS Visual Studio (MS SQL Server).

Таблица 1.

Описание таблиц БД оборудования

Имя таблицы	Содержание
Equipment	Оборудование с подробным описанием
Arrival	Информация о приходе оборудования на предприятие
Group	Список типов оборудования
Inventory	Информация об инвентаризации
Inventory_hat	Шапка таблицы инвентаризации
Office	Список офисов, в которых находится оборудование
Proveders	Список поставщиков оборудования
Repair	Список ремонтов
Repair_type	Список типов ремонта оборудования
Requests	Список заявок на ремонт оборудования
Status	Список статусов оборудования
Workers	Список работников, взаимодействующих с оборудованием
Wr-off	Списанное оборудование

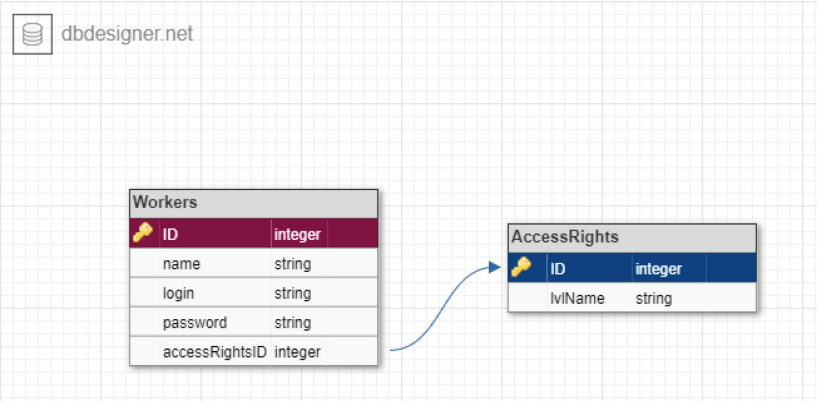


Рис. 2. Структура БД работников

Таблица 2.

Описание таблиц БД работников

Имя таблицы	Описание
Workers	Содержит список всех работников организации с их логинами и паролями
AccessRights	Список прав доступа в базе данных с оборудованием

Описание форм и классов приведено в табл. 3.

Таблица 3.

Описание классов и форм

Имя формы	Содержание
About	Информация о приложении и его разработчике
Help	Информация о функционировании приложения
Application	Форма, позволяющая пользователю оставить заявку на ремонт оборудования
Arrival	Форма, оформляющая приход нового оборудования
ArrProv	Форма, создающая отчет о прибывшем оборудовании от указанного поставщика
CustomMesageBox	Форма, создающая отчет о ремонтах конкретного вида оборудования
CustomMSG2	Форма, создающая отчет о ремонтах, которые проведены конкретным человеком
DateAr	Форма, создающая отчет о прибытии оборудования в указанный промежуток времени
Form1	Главная форма приложения
Guide	Форма для отображения справочников
Wr_offForm	Форма для списания оборудования
AuthorizationForm	Форма авторизации

При запуске приложения открывается форма авторизации (AuthorizationForm), далее при корректном вводе данных – форма приложения (Form1). Главное окно можно условно разбить на две части: главное меню и таблица, содержащая информацию об оборудовании. Главное меню позволяет: совершать действия с базой данных (просмотр, редактирование), оставлять и просматривать заявки на ремонт, оформлять приход и списание, просматривать списки оборудования и справочники, создавать отчеты, вызывать справочную информацию о приложении и выполнять его настройку.

В результате анализа полученных сведений об изученном процессе по учету и движению оборудования на предприятии была построена SADT-модель уровня А-0 и детализация А0 (рис. 3, 4) в графической нотации IDEF0. В качестве инструмента визуализации модели использовался программный продукт BPWin.

Рис. 3. Контекстный уровень диаграммы IDEF0

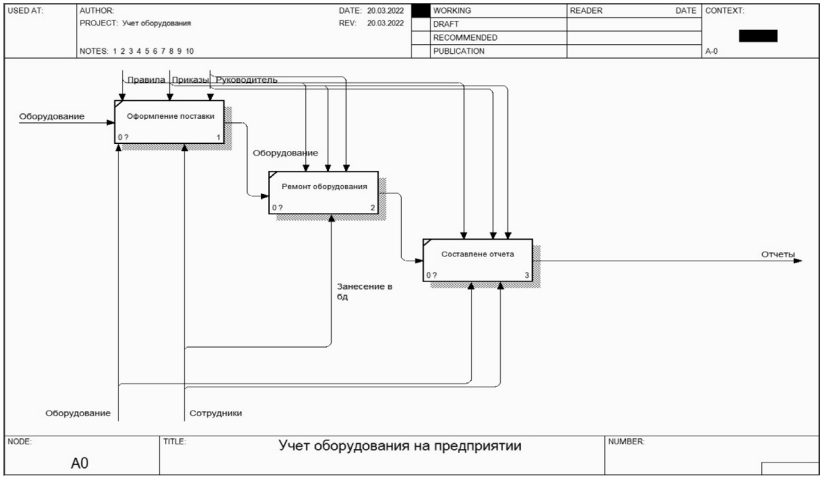


Рис. 4. Функциональная диаграмма

На рис. 5, 6, 7 представлены декомпозиции функций «Оформление поставки», «Ремонт оборудования», «Составление отчета» соответственно.

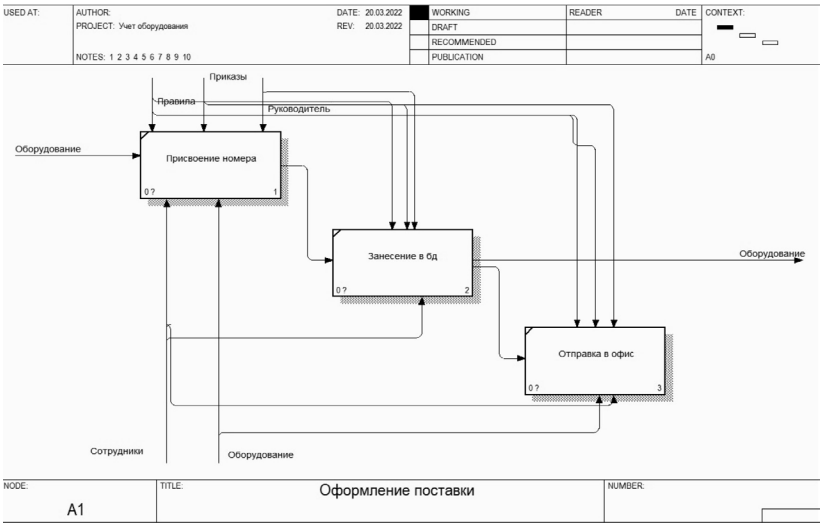


Рис. 5. Декомпозиция функции «Оформление поставки»

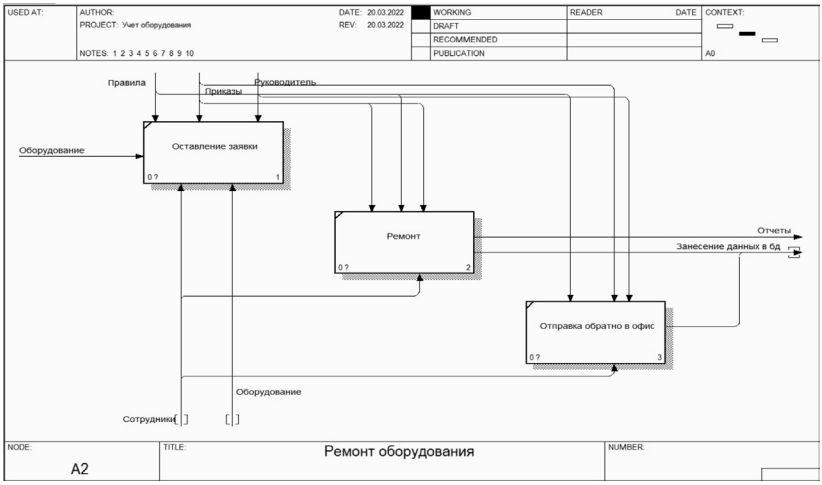


Рис. 6. Декомпозиция функции «Ремонт оборудования»

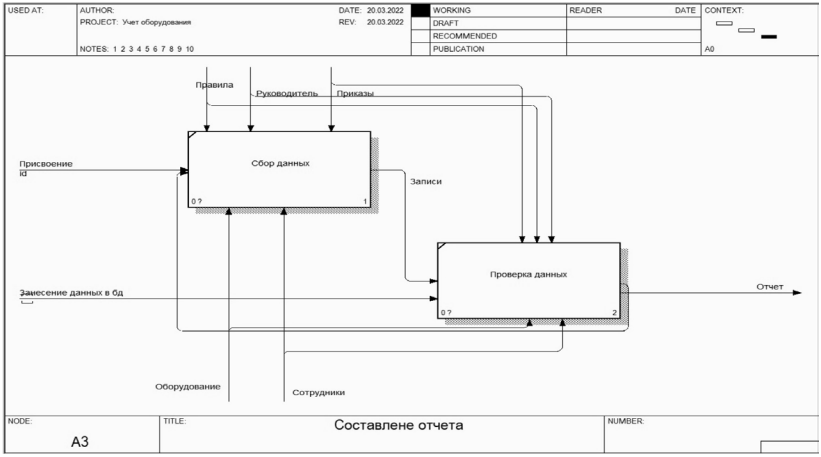


Рис. 7. Декомпозиция функции «Составление отчета»

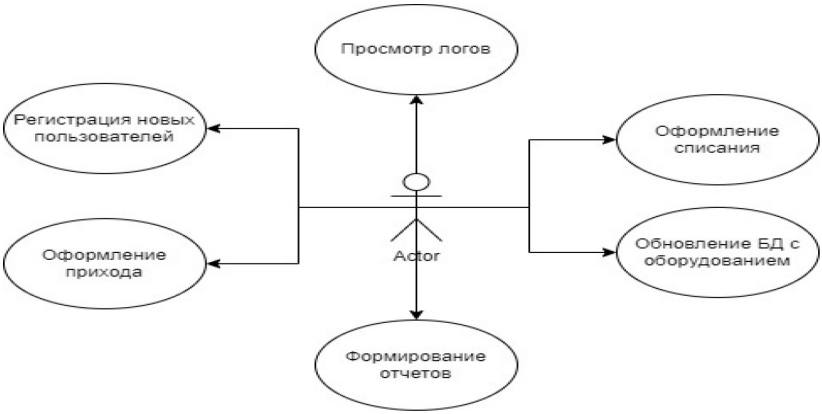


Рис. 8. Варианты использования для актора Администратор

Приложение поддерживает авторизированный доступ. Обычный пользователь может просматривать базу данных в соответствии с введенными фильтрами, формировать различные отчеты. Администратор имеет право не только просматривать базу данных, но и изменять её. Варианты использования приложения для актора Администратор приведены на рис. 8.

Для реализации программы использовалась интегрированная среда разработки MS Visual Studio 2019 и объектно-ориентированный язык программирования C#.

Были выделены следующие возможности объектно-ориентированного языка C# для реализации программного обеспечения, автоматизирующего процесс учета оборудования на предприятии:

1. Авторизации пользователя

Код сверки приведен на рис. 9, 10. Также на данном этапе определяется уровень доступа пользователя и блокируются соответствующие кнопки.

```
bool t = false;

SqlCommand com = new SqlCommand("SELECT * FROM [Workers]", mdb);
Reader = await com.ExecuteReaderAsync();
int a = 0;
string name = "";

while (await Reader.ReadAsync())
{
    if (Convert.ToString(Reader["login"]) == loginTB.Text
        && Convert.ToString(Reader["password"]) == PasswordTB.Text)
    {
        t = true;
        a = Convert.ToInt32(Reader["accessRightsID"]);
        name = Convert.ToString(Reader["name"]);
        break;
    }
}
```

Рис. 9. Код авторизации пользователя

```
if (t)
{
   welocmeL.Text = name;
    if (a == 1 || a == 2)
    {
        main.Access(true);
    }
    else
    {
        main.Access(false);
    }
    main.Show();
    this.Hide();
}
else
{
    MessageBox.Show("Неправильный логин или пароль",
        "Ошибка авторизации", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
}

if (Reader != null) Reader.Close();
if (mdb != null && mdb.State != ConnectionState.Closed) mdb.Close();
```

Рис. 10. Код авторизации пользователя

2. Формирование отчетов:

– функция Report (рис. 11) формирует документ MS Word, в котором уже заполнены Шапка и Виза;
– функция TableFill (рис. 12) добавляет в документ таблицу, соответствующую определенному запросу пользователя: отчет на конкретную дату, по материально ответственному лицу и т.д.

```
public static void Report(string HeaderText, DataTable table, string[] ColumnsName, string FileName)
{
    Word.Application app = new Word.Application();
    object oMissing = System.Reflection.Missing.Value;
    Word.Document doc = app.Documents.Add(Visible: true);

    doc.Paragraphs.Add(ref oMissing);
    doc.Paragraphs.Add(ref oMissing);
    doc.Paragraphs.Add(ref oMissing);

    doc.Paragraphs[1].Range.Text = HeaderText;
    doc.Paragraphs[1].Alignment = Word.WdParagraphAlignment.wdAlignParagraphCenter;
    doc.Paragraphs[1].Range.Font.Name = "Times New Roman";
    doc.Paragraphs[1].Range.Font.Size = 15;

    doc.Paragraphs[3].Range.Text = "Подпись руководителя _____";
    doc.Paragraphs[3].Alignment = Word.WdParagraphAlignment.wdAlignParagraphRight;
    doc.Paragraphs[3].Range.Font.Name = "Times New Roman";
    doc.Paragraphs[3].Range.Font.Size = 10;

    Object defaultTableBehavior = Word.WdDefaultTableBehavior.wdWord9TableBehavior;
    Object autoFitBehavior = Word.WdAutoFitBehavior.wdAutoFitWindow;
    Word.Table t = doc.Tables.Add(doc.Paragraphs[2].Range, table.Rows.Count + 1, table.Columns.Count,
        ref defaultTableBehavior, ref autoFitBehavior);
    t.Borders.Enable = 1;
```

Рис. 11. Функция Report

```
private void TableFill(Word.Table t, DataTable table)
{
    for (int i = 2; i <= t.Rows.Count; i++)
        for (int j = 1; j <= t.Columns.Count; j++)
        {
            t.Rows[i].Cells[j].Range.Text = table.Rows[i - 2].ItemArray[j - 1].ToString();
            t.Rows[i].Cells[j].Range.Font.Name = "Times New Roman";
            t.Rows[i].Cells[j].Range.Font.Size = 10;

            t.Rows[i].Cells[j].VerticalAlignment = Word.WdCellVerticalAlignment.wdCellAlignVerticalCenter;
            t.Rows[i].Cells[j].Range.ParagraphFormat.Alignment = Word.WdParagraphAlignment.wdAlignParagraphCenter;
        }
}
```

Рис. 12. Функция TableFill

3. Просмотр справочников

Справочниками в приложении являются таблицы, содержащие информацию о типах оборудования, видах ремонта, а также списки работников, офисов, поставщиков (рис. 13).

```
private void showBut_Click(object sender, EventArgs e)
{
    AddBut.Enabled = mainForm.rez;
    DelBut.Enabled = mainForm.rez;

    SqlDataAdapter adapter = null;
    adapter = new SqlDataAdapter("SELECT * FROM [" + GetDB() + "]", mainForm.con);

    DataTable table = new DataTable();
    adapter.Fill(table);
    if (table != null)
    {
        dataGWguide.DataSource = null;
        dataGWguide.Rows.Clear();
        dataGWguide.Columns.Clear();
    }

    dataGWguide.DataSource = table;
    dataGWguide.Columns[0].Visible = false;
```

Рис. 13. Просмотр справочников

4. Параметризированные запросы

Параметризированные запросы помогают избежать SQL инъекций, то есть незапланированных разработчиком атак на базу данных, позволяющих изменить или украсть данные, потенциально облегчить внедрение команд в базовую ОС (рис. 14).

```
DateTime date = dtpDate.Value.Date;
DateTime date2 = dtpDate2.Value.Date;
SqlCommand sel = new SqlCommand("SELECT r.id_request, rt.rep_title, w.name, r.date FROM repair r " +
    "join workers w on w.id = r.id_person " +
    "join requests rq on rq.Id = r.id_request " +
    "join equipment eq on eq.Id = rq.id_equip " +
    "join repair_type rt on rt.id = r.id_repair_type " +
    "WHERE r.date >= @param_val_1 AND r.date <= @param_val_2", con);
sel.Parameters.AddWithValue("@param_val_1", date);
sel.Parameters.AddWithValue("@param_val_2", date2);

adapter.SelectCommand = sel;
```

Рис. 14. Параметризированный запрос

Таким образом, выявлены следующие возможности объектно-ориентированного языка программирования C# для автоматизации процесса учёта оборудования на предприятии: авторизации пользователя, формирование отчетов, просмотр баз данных (справочников), использование параметризированных запросов.

Проектирование единого информационного пространства стратегического управления предприятием предусматривает системный подход к исследованию процедур учета оборудования как сложной, целостной, многоаспектной и многоуровневой экономической системой.

Список литературы

1. Авдиль С.Л., Бекирова Э.А. Возможности объектно-ориентированного языка программирования C# (C SHARP) // Информационно-компьютерные технологии в экономике, образовании и социальной сфере. 2018. № 3 (21). С. 113-117.
2. Белоусова Е.П. Разработка системы у чета и распределения вычислительной техники на крупном предприятии // Регион: системы, экономика, управление. 2021. № 1 (52). С. 150-163.
3. Бужинская Н.В., Котелевец Н.О. Разработка программного продукта для автоматизации учета оборудования на предприятии // Аллея науки. 2019. Т. 4. № 1 (28). С. 953-957.
4. Кокина А.А. Автоматизация учета и технического обслуживания оборудования на предприятии средствами 1С: Предприятие // Студенческая наука и XXI век. 2019. Т. 16. № 1-1 (18). С. 75-77.
5. Краснов М.М. Библиотека функционального программирования для языка C++ // Программирование. 2020. № 5. С. 47-59.
6. Лебедевская А.В., Гумбар Е.Г., Азаров М.Ю. Автоматизация технического обслуживания и ремонта основных средств как основа снижения себестоимости продукции // Научные тенденции. 2020. № 6. С. 109-118.
7. Наркевич Л.В. Информационно-аналитическая платформа управления обновлением основных средств в условиях цифровой трансформации // Вестник РГГУ. С.: Экономика. Управление. Право. 2022. № 1. С. 22-44.
8. Никитина У.О., Зарипова Р.С. Сравнительный анализ языков C++ и C# // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2020. № 3 (21). С. 37-39.
9. Сибгатулин Д.С. Автоматизация учета оборудования на предприятии ООО «Редлайн» // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. 2021. № 1-3. С. 98-101.

10. Сизова О.В., Жаворонкова А.В., Мизонов В.Е. Моделирование процесса расчета показателей тепловой экономичности оборудования ГРЭС // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2021. № 3. С. 42-50.
11. Шепелева А.Э. Применение программных пакетов и языка C# в инженерных расчетах // Инжиниринг и технологии. 2020. Т. 5. № 2. С. 15-19.
12. Baishakhi Ray, Daryl Posnett, Premkumar Devanbu, and Vladimir Filkov. A Large-scale Study of Programming Languages and Code Quality in GitHub // Commun. ACM, September, 2017, vol. 60 (10), pp. 91–100.
13. Daniel G. Waddington and Bin Yao. High-Fidelity C/C++Code Transformation // Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 2007, vol. 141, pp. 35–56.
14. Emanuel Graf, Guido Zgraggen, and Peter Sommerlad. Refactoring support for the C++ development tooling // In OOPSLA Companion, 2007.
15. Leo A. Meyerovich and Ariel S. Rabkin. Empirical Analysis of Programming Language Adoption // SIGPLAN Not., 2013, vol. 48 (10), pp. 1–18.
16. Will Tracz. Refactoring for Software Design Smells: Managing Technical Debt by Girish Suryanarayana, Ganesh Samarthyam, and Tushar Sharma // ACM SIGSOFT Software Engineering Notes, 2015, vol. 40 (6), pp. 36.

References

1. Avdil S.L., Bekirova E.A. Vozmozhnosti ob”ektno-orientirovannogo yazyka programmirovaniya S# (S SHARP) [The possibilities of an object-oriented programming language C# (With SHARP)]. *Informatsionno-komp’yuternye tekhnologii v ekonomike, obrazovanii i sotsial’noy sfere,* 2018, no. 3 (21), pp. 113-117.
2. Belousova E.P. Razrabotka sistemy u cheta i raspredeleniya vychislitel’noy tekhniki na krupnom predpriyatii [Development of a system for the management and distribution of computing equipment at a large

enterprise]. *Region: sistemy, ekonomika, upravlenie,* 2021, no. 1 (52), pp. 150-163.

3. Buzhinskaya N.V., Kotelevets N.O. Razrabotka programmnogo produkta dlya avtomatizatsii ucheta oborudovaniya na predpriyatii [Development of a software product for automation of equipment accounting at an enterprise]. *Alleya nauki,* 2019, vol. 4, no. 1 (28), pp. 953-957.
4. Kokina A.A. Avtomatizatsiya ucheta i tekhnicheskogo obsluzhivaniya oborudovaniya na predpriyatii sredstvami 1S: Predpriyatie [Automation of accounting and maintenance of equipment at the enterprise by means of 1C: Enterprise]. *Studencheskaya nauka i XXI vek,* 2019, vol. 16, no. 1-1 (18), pp. 75-77.
5. Krasnov M.M. Biblioteka funktsional'nogo programmirovaniya dlya yazyka C++ [Library of functional programming for the C++ language]. *Programmirovanie,* 2020, no. 5, pp. 47-59.
6. Lebedevskaya A.V., Gumbar E.G., Azarov M.Yu. Avtomatizatsiya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta osnovnykh sredstv kak osnova snizheniya sebestoimosti produktsii [Automation of maintenance and repair of fixed assets as a basis for reducing the cost of production]. *Nauchnye tendentsii,* 2020, no. 6, pp. 109-118.
7. Narkevich L.V. Informatsionno-analiticheskaya platforma upravleniya obnovleniem osnovnykh sredstv v usloviyakh tsifrovoy transformatsii [Information and analytical platform for managing the renewal of fixed assets in the conditions of digital transformation]. *Vestnik RGGU. Seriya: Ekonomika. Upravlenie. Pravo,* 2022, no. 1, pp. 22-44.
8. Nikitina U.O., Zaripova R.S. Sravnitel'nyy analiz yazykov S++ i S# [Comparative analysis of C++ and C# languages]. *Informatsionnye tekhnologii v stroitel'nykh, sotsial'nykh i ekonomicheskikh sistemakh,* 2020, no. 3 (21), pp. 37-39.
9. Sibgatulin D.S. Avtomatizatsiya ucheta oborudovaniya na predpriyatii OOO «Redlayn» [Automation of equipment accounting at the LLC «Redline» enterprise]. *Sbornik izbrannykh statey nauchnoy sessii TUSUR*. 2021, no. 1-3, pp. 98-101.

10. Sizova O.V., Zhavoronkova A.V., Mizonov V.E. Modelirovanie protsessa rascheta pokazateley teplovoy ekonomichnosti oborudovaniya GRES [Modeling of the calculation process of thermal efficiency indicators of GRES equipment]. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta,* 2021, no. 3, pp. 42-50.
11. Shepeleva A.E. Primenenie programmnykh paketov i yazyka S# v inzhenernykh raschetakh [Application of software packages and the C# language in engineering calculations]. *Inzhiniring i tekhnologii,* 2020, vol. 5, no. 2, pp. 15-19.
12. Baishakhi Ray, Daryl Posnett, Premkumar Devanbu, and Vladimir Filkov. A Large-scale Study of Programming Languages and Code Quality in GitHub. *Commun. ACM*, September, 2017, vol. 60 (10), pp. 91–100.
13. Daniel G. Waddington and Bin Yao. High-Fidelity C/C++Code Transformation. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 2007, vol. 141, pp. 35–56.
14. Emanuel Graf, Guido Zgraggen, and Peter Sommerlad. Refactoring support for the C++ development tooling. *In OOPSLA Companion*, 2007.
15. Leo A. Meyerovich and Ariel S. Rabkin. Empirical Analysis of Programming Language Adoption. *SIGPLAN Not.,* 2013, vol. 48 (10), pp. 1–18.
16. Will Tracz. Refactoring for Software Design Smells: Managing Technical Debt by Girish Suryanarayana, Ganesh Samarthyam, and Tushar Sharma. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 2015, vol. 40 (6), pp. 36.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Рихтер Татьяна Васильевна, доцент кафедры «Математические и естественнонаучные дисциплины», кандидат педагогических наук

Пермский государственный национальный исследовательский университет

ул. Букирева, 15, г. Пермь, 614990, Российская Федерация

tatyanarikhter@mail.ru

Белоус Анастасия Вячеславовна, студент
Пермский государственный национальный исследовательский университет
ул. Букирева, 15, г. Пермь, 614990, Российская Федерация
tatyanarikhter@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Tatiana V. Richter, Associate Professor «Mathematical and Natural Sciences», Candidate of Pedagogical Sciences
Perm State National Research University
15, Bukireva Str., Perm, 614990, Russian Federation
SPIN-code: 2410-2005
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-3698-3147
ResearcherID: AAI-2065-2021
Scopus Author ID: 57196287939

Anastasia V. Belous, student
Perm State National Research University
15, Bukireva Str., Perm, 614990, Russian Federation
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2813-9672

Поступила 11.04.2022 Received 11.04.2022
После рецензирования 25.04.2022 Revised 25.04.2022
Принята 27.04.2022 Accepted 27.04.2022

 Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-2-86-109
УДК 658.562

ИННОВАЦИОННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

С.В. Домнина, Е.В. Савоскина, О.А. Гужова

Цель исследования *– выявление роли инновационной составляющей в системе менеджмента качества автомобильных дорог. Проведен анализ доли количества новых технологий и материалов, применяемых для повышения качества автомобильных дорог, динамики ДТП на участках федеральных автомобильных дорог, на которых применялись новые технологии и материалы, а также состояния автомобильных дорог. Данные стали основой формирования факторов, повышающих безопасность дорожного движения. Разработана регрессионная модель зависимости безопасности дорожно-транспортного движения от качества автомобильных дорог (при трёх переменных). С помощью модели возможно прогнозировать влияние изменения переменных факторов на количество дорожно-транспортных происшествий.*

В исследовании разработана система менеджмента качества автомобильных дорог и выделены инновационные составляющие, такие как управляющее воздействия, инструменты управления, факторы, инновационные технологии и элементы интегрального показателя инновационной деятельности. Новые горизонты в системе менеджмента качества автомобильных дорог – инновации, которые формируют необходимость совершенствовать все её элементы (планирование, управление строительством, технология строительного производства, его организация, организация труда работников) с учетом практики управления качеством автомобильных дорог на основе учета стандартов проектного менеджмента Международной ассоциации управления проектами. Это повысит качество дорожного

объекта. В результате этого будет получен экономический эффект от внедрения системы управления качеством дорожных работ.

Автомобильные дороги относятся к институционально обеспечивающим процессам формирования общественного благосостояния и безопасности страны. Однако до сих пор остается проблемой низкая удовлетворенность состоянием автомобильных дорог населением. Несмотря на активное участие государства в развитии транспортной отрасли, системы менеджмента качества в российских дорожных организациях не всегда являются эффективными. В большинстве своём они акцентируют внимание именно на решении технических задач и вопросов оперативного управления. Новые горизонты в системе менеджмента качества автомобильных дорог должна открыть программа инновационного развития госкомпании «Российские автомобильные дороги». Данная программа ориентирует на повышение показателей качества автомобильных дорог за счет внедрения технологических инициатив на всех этапах строительства автомобильных дорог. Применения принципа «открытые инновации» усиливает необходимость включения в стандартизованную модель системы менеджмента качества (СМК) блока инноваций. В связи с этим становится очевидным разработка системы менеджмента качества автомобильных дорог с учетом инновационной составляющей.

***Целью** данного исследования является разработка системы менеджмента качества автомобильных дорог с учетом инновационной составляющей.*

***Метод и методология проведения работ:** в процессе работы использованы общенаучные методы исследования: анализ научной и учебной литературы; процессный подход; сравнительный анализ; системный анализ, синтез; метод корреляционно-регрессионного анализа; методы табличного и графического представления данных, а также стандарты проектного управления.*

Результаты:

– *разработана корреляционно-регрессионная модель зависимости безопасности дорожно-транспортного движения*

от качества автомобильных дорог (от трёх переменных факторов);

– *разработана система менеджмента качества на всех этапах строительства автомобильных дорог с учетом инновационной составляющей.*

Область применения результатов: *предлагаемые результаты могут использоваться при совершенствовании системы менеджмента качества автомобильных дорог в РФ.*

Ключевые слова: *автомобильные дороги; качество автомобильных дорог; управление качеством автомобильных дорог; система менеджмента качества автомобильных дорог; инновации и система менеджмента качества автомобильных дорог; модель зависимости безопасности дорожно-транспортного движения*

INNOVATIVE COMPONENT IN THE ROAD QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

S.V. Domnina, E.V. Savoskina, O.A. Guzhova

*The **aim of the study** is to identify the role of the innovative component in the system of quality management of highways. An analysis of the proportion of new technologies and materials used to improve the quality of roads, the dynamics of accidents on sections of federal highways, where new technologies and materials were used, as well as the condition of roads was carried out. The data became the basis for the formation of factors that improve road safety. A regression model of the dependence of road safety on the quality of roads (with three variables) was developed. With the help of the model it is possible to predict the impact of changes in the variables on the number of road accidents.*

The study developed a system of quality management of roads and highlighted the innovative components, such as controlling effects, management tools, factors, innovative technologies and elements of the integral indicator of innovation. New horizons in the system of quality management of roads – innovation, which forms the need to improve

all of its elements (planning, construction management, construction technology, its organization, organization of labor of employees), taking into account the practice of quality management of roads based on the standards of project management of the International Association of Project Management. This will improve the quality of the road object. As a result, there will be an economic effect from the introduction of the quality management system of road works.

Roads are among the institutional support processes for the formation of public welfare and security of the country. However, there is still a problem of low satisfaction with the condition of roads by the population. Despite the active participation of the state in the development of the transport industry, quality management systems in Russian road organizations are not always effective. Most of them focus their attention on solving technical problems and issues of operational management. New horizons in the system of quality management of roads should open the program of innovative development of the state company "Russian Highways". This program focuses on improving the quality of roads through the introduction of technological initiatives at all stages of road construction. Application of the principle "open innovations" strengthens the need to include the block of innovations in the standardized model of the quality management system (QMS). In this regard, it becomes obvious to develop a road quality management system taking into account the innovation component.

***The purpose** of this study is to develop a system of quality management of roads, taking into account the innovative component.*

***Method and methodology of work:** in the process of work were used general scientific methods of research: analysis of scientific and educational literature; process approach; comparative analysis; system analysis, synthesis; method of correlation and regression analysis; methods of tabular and graphical representation of data, as well as standards of project management.*

Results:

- *A correlation and regression model of the dependence of road traffic safety on the quality of roads (on three variables) was developed;*

– *developed a quality management system at all stages of road construction, taking into account the innovative component.*

Scope of the results: *the proposed results can be used to improve the quality management system of roads in the Russian Federation.*

Keywords: *roads; road quality; road quality management; road quality management system; innovations and road quality management system; road safety dependency model*

Введение

Качество дорог и их техническое состояние всегда определяли социально-экономическое развитие регионов, страны в целом [3, с. 21]. Кроме того, автомобильные дороги относятся к институционально обеспечивающим процессам формирования общественного благосостояния и безопасности страны, однако до сих пор остается проблема низкой удовлетворенности состоянием автомобильных дорог населением. Надёжная транспортная логистика и связи способствуют повышению эффективности использования всех ресурсов.

Наибольшая активность в структурные пристройки транспортной отрасли наблюдается с начала 2016 года. В это период реализуются шесть федеральных проектов, создаются предпосылки к разработке и принятию в 2019 году национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги». Несмотря на активное участие государства в развитии транспортной отрасли, системы менеджмента качества в российских дорожных организациях не всегда являются эффективными. В большинстве своём они акцентируют внимание именно на решении технических задач и вопросов оперативного управления. В последние годы управленческие задачи должны быть связаны с реализацией национальной программы «Цифровая экономика РФ», планом модернизации магистральной инфраструктуры до 2024 года, «Безопасные и качественные дороги», «Экология» и «Наука». Автомобильный трафик в РФ в последнее время вырос в несколько раз. В связи с увеличившимися нагрузками стало стремительно ухудшаться и состояние дорог. Ресурс нетехнологической конкуренции (за счет дешевой рабочей силы, сырья и энергии и т.д.)

сегодня полностью исчерпал себя. Новые горизонты в системе менеджмента качества автомобильных дорог должна открыть программа инновационного развития госкомпании «Российские автомобильные дороги». Данная программа ориентирует на повышение показателей качества автомобильных дорог за счет внедрения технологических инициатив на всех этапах строительства автомобильных дорог. Применения принципа «открытые инновации» усиливает необходимость включения в стандартизованную модель системы менеджмента качества (СМК) блока инноваций.

Основная задача развития транспортного комплекса до 2030 года – переход к инновационному типу развития, который предполагает создание новых технологий, технологических решений, материалов, а также их совершенствование, использование. Поэтому возникает необходимость разработки системы менеджмента качества автомобильных дорог с учетом инновационной составляющей.

Материалы и методы исследования

Вопросы контроля управления качеством строительства автомобильных дорог рассматриваются в работах Э.Р. Ахтямова [1], В.В. Гавриш [2], А.И. Доценко [5], А.Н. Елисеева [6], А.П. Кокова [7], Д.Н. Коротаева [8], И.И. Леонович [9], Н.Е. Петровой [11]. Вопросам определения факторов безопасности и качества дорог посвящены работы А. Солодкого и А. Горева [19].

Исследованиями параметров обеспечения качества автомобильных дорог и проблемами повышения качества и безопасности дорожного движения серьезно в своих исследованиях занимается Т.В. Дормидонтова, М.А. Мануйлов и С.В. Евдокимов [4, 15].

За последние годы все больше внимания уделяется направлениям реализации инновационных технологий в систему качества дорожного строительства и безопасности дорожного движения. Проблемы инновационного развития прорабатываются такими авторами как А.В. Боровик, А.С. Седова [14]. В зарубежных статьях рассматриваются проблемы повышения качества и безопасности дорожного движения [16], организации схемы планирования го-

родских дорог для уменьшения пробок на дорогах [17], взаимосвязи дорожного освещения и качества дорожного покрытия с тяжестью дорожно-транспортных происшествий [18], качества и эффективности содержания дорог [20].

Однако в исследованиях не рассматриваются вопросы разработки системы менеджмента качества на всех этапах строительства автомобильных дорог с учетом процессного подхода и стандартов качества управления, а также инновационной составляющей.

Показатели качества автомобильных дорог связаны со всеми этапами, поэтому можно выделить:

– качество проектирования;
– качество производства;
– технико-экономические показатели качества;
– технологические показатели качества;
– качество оценки соответствия, мониторинг транспортно-эксплуатационного состояния;
– качество эксплуатации (надежность и безопасность дорожного движения);
– потребительные показатели качества.

Следует отметить, что качество дорог влияет на безопасность дорожного движения и число дорожно-транспортных происшествий.

Проведем анализ состояния автомобильных дорог в РФ. На рисунке 1 представлены данные по протяженности автомобильных дорог в России.

Рис. 1. Протяженность автомобильных дорог [12]

Источник: Диаграмма построена автором по данным: Транспорт в России – 2020 г. – URL: https://gks.ru/bgd/regl/B20_55/Main.htm

Большой вклад в исследования по данной теме вносит Коллегия Счетной палаты РФ. Результаты экспертно-аналитических отчётов позволяют сделать выводы о инновационной активности компаний в дорожном строительстве, ремонте, содержании.

Обобщая данные в период 2018–2020 гг. по новым технологиям и материалам, их объемам от общего количества инноваций, используемых Госкомпанией и федеральными каченными учреждениями (ФКУ) можно констатировать тот факт, что всего 264 технологий и материалов можно отнести к инновациям и новациям. Из них Госкомпаниями реализовано 22,7%, а на долю ФКУ приходится более половины – 77,3%. Максимальная инновационная активность в дорожном строительстве наблюдалась в 2019 году (в до пандемийный период) – 22 новые технологии и материалы (таблица 1).

Таблица 1.

Новые технологии и материалы и их доля от общего количества инноваций, 2018–2020 гг. [10]

Вид дорожных работ	Используемых Госкомпанией новых технологий и материалов		Используемых ФКУ новых технологий и материалов	
	шт.	%	шт.	%
Строительство, реконструкция	34	69,4	50	23,3
Капитальный ремонт	20	40,8	131	60,9
Ремонт	7	14,3	87	40,5
Содержание	14	28,6	45	20,9
Всего	49	-	215	-

По данным, представленным Росавтодором, 215 новых технологий и материалов реализуется на ФКУ, из них в период 2018–2020 гг. наибольший процент нововведений связан с капитальным ремонтом дорожного полотна – 60,9% (131 технология). В Госкомпаниях наибольший процент нововведений связан со строительством и реконструкцией – 69,4% от общего количества инноваций.

Важной составляющей в системе факторов, влияющих на эффективность существующей системы качества дорог, является количество дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах (далее – ДТП).

В таблице 2 представлены данные о количестве ДТП на автомобильных дорогах.

Из таблицы видно, что одна из причин дорожно-транспортных происшествий – неудовлетворительное состояние улиц и дорог. Поэтому необходимо улучшать качество дорог и использовать объекты, повышающие безопасность дорожного движения на автомобильных дорогах федерального и местного значения.

Таблица 2.

Число ДТП на автомобильных дорогах в РФ [12]

Показатель	2005	2010	2015	2017	2018	2019
Число дорожно-транспортных происшествий (ДТП), тыс.	223,3	199,4	184,0	169,4	168,1	164,4
в том числе по вине индивидуальных владельцев транспортных средств	150,0	147,5	138,9	128,0	126,5	124,6
по причинам:						
эксплуатации технически неисправных транспортных средств	3,4	1,1	2,6	6,5	6,2	6,7
неудовлетворительного состояния улиц и дорог	53,3	41,9	63,1	67,9	59,4	54,4
Погибло в дорожно-транспортных происшествиях (ДТП), тыс. человек	34,0	26,6	23,1	19,1	18,2	17,0
в том числе по вине индивидуальных владельцев транспортных средств	23,3	19,9	17,3	14,2	13,6	12,8
по причинам:						
эксплуатации технически неисправных транспортных средств	0,6	0,2	0,5	1,1	1,1	1,1
неудовлетворительного состояния улиц и дорог	8,5	5,9	8,0	7,0	5,6	4,9

Источник: Транспорт в России – 2020 г. – URL: https://gks.ru/bgd/regl/B20_55/Main.htm

Интересная статистика динамики ДТП представлена в таблице 3 в период 2018–2020 годов. В таблице представлены данные, отражающие количество ДТП на дорогах, на которых применялись новые технологии и материалы.

Таблица 3.

Динамика ДТП на участках дорог, построенных с примирением инноваций [10]

Наименование	Количество ДТП			Итого за период
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	
Росавтодор	24	40	149	213
Госкомпании	115	59	84	258

В период 2018–2020 годов из-за состояния улично-дорожной сети количество дорожно-транспортных происшествий составило 471 ед. Общее количество происшествий на дорогах Росавтодора и Госкомпании примерно одинаково – 213 ед. и 258 соответствен-

но, в результате погибло 132 человека, ранен 601 человек. Однако по периодам динамика сильно отличается. Если в 2018 году на дорогах Росавтодора выявлено всего 24 происшествия, то в 2020 году это количество увеличилось в 6,2 раза. Обратная ситуация складывается на дорогах Госкомпаний. Количества ДТП уменьшается в 1,36 раза. Такая динамика связана с усилением контроля со стороны системы менеджмента качества автомобильных дорог за темы объектами, где применялись инновации.

Результаты

Качество дорог непосредственно влияет на безопасность дорожного движения. Одним из способов повышения безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах является применение специальных объектов, динамика которых с 2005 по 2019 гг. представлена на рисунках 2 и 3.

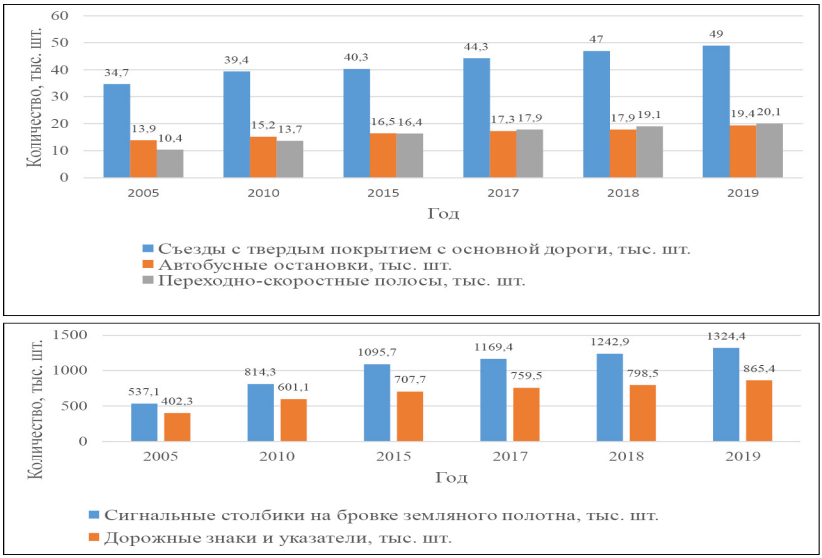


Рис. 2. Количество объектов, повышающих безопасность дорожного движения на автомобильных дорогах федерального значения [12]

Источник: Диаграмма построена автором по данным: Транспорт в России – 2020 г. – URL: https://gks.ru/bgd/regl/B20_55/Main.htm

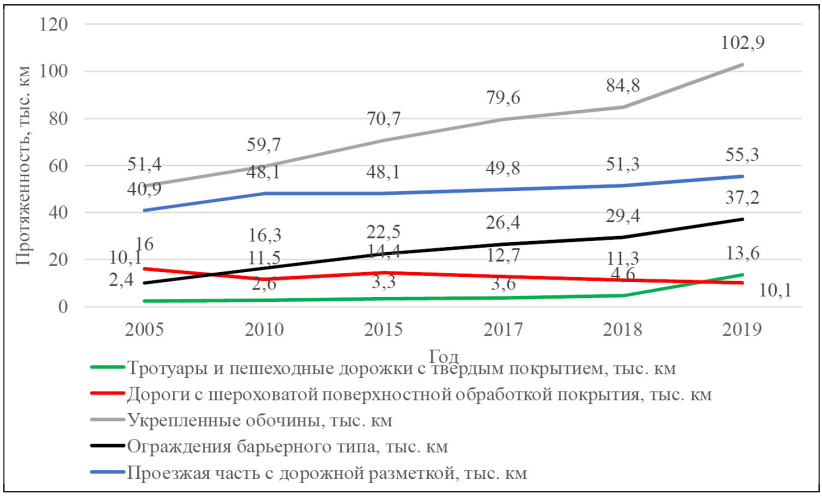


Рис. 3. Протяженность объектов, повышающих безопасность дорожного движения на автомобильных дорогах федерального значения [12]
Источник: Диаграмма построена автором по данным: Транспорт в России – 2020 г. – URL: https://gks.ru/bgd/regl/B20_55/Main.htm

Из рисунков 2 и 3 видно, что с 2005 по 2019 гг. увеличивается количество и протяженность объектов, повышающих безопасность дорожного движения на автомобильных дорогах:

– на 467% – протяженность тротуаров и пешеходных дорожек;
– на 268% – протяженность ограждений барьерного типа;
– на 147% – количество сигнальных столбиков;
– на 115% – количество дорожных знаков;
– на 100% – протяженность укрепленных обочин;
– на 41% – количество съездов с твердым покрытием.

На рисунке 3 видно, что один из показателей – «дороги с шероховатой поверхностной обработкой покрытия» сокращается за анализируемый период на 37%.

Анализируя статистические данные, можно заметить, что количество ДТП снижается при увеличении протяженности дорог с твердым покрытием, при увеличении количества ограждений барьерного типа, съездов с твердым покрытием с основной до-

роги и других объектов, повышающих безопасность дорожного движения. Однако один показатель имеет прямую зависимость с числом ДТП, это протяженность дорог с шероховатой поверхностной обработкой покрытия.

Далее в исследовании построены зависимости числа ДТП от различных факторов, представленных на рисунках 2 и 3. В окончательной корреляционно-регрессионной модели были выбраны следующие переменные:

– тротуары и пешеходные дорожки с твердым покрытием;
– сигнальные столбики на бровке земляного полотна;
– дороги с шероховатой поверхностной обработкой покрытия.

В таблице 4 представлены необходимые данные для построения корреляционно-регрессионной зависимости числа ДТП от приведенных выше переменных факторов.

Таблица 4.

Данные для построения корреляционно-регрессионной зависимости числа ДТП от переменных факторов [12]

Год	**ДТП**	**Тротуары, пешеходные дорожки с твердым покрытием, тыс. км**	**Сигнальные столбики на бровке земляного полотна, тыс. шт.**	**Дороги с шероховатой поверхностной обработкой покрытия, тыс. км**
	Y	X1	X2	X3
2005	223,3	2,4	537,1	16
2010	199,4	2,6	814,3	11,5
2015	184	3,3	1095,7	14,4
2017	169,4	3,6	1169,4	12,7
2018	168,1	4,6	1242,9	11,3
2019	164,4	13,6	1324,4	10,1

Источник: Составлено автором по данным «Транспорт в России – 2020 г.». – URL: https://gks.ru/bgd/regl/B20_55/Main.htm

Корреляционный анализ показал, что все факторы влияют на число ДТП, при этом эта зависимость носит как обратный характер, так и прямой характер. Мультиколлинеарность между переменными факторами в рамках корреляционного анализа не выявлена, поэтому все три фактора могут быть использованы в дальнейшем анализе.

Далее была применена функция «Регрессия» в пакете Excel «Анализ данных». Анализ данных регрессионной статистики показал, что коэффициент достоверности Пирсона больше 99%. Фактическое значение F-критерия составило 57,3, что намного больше его табличного значения (19,6). То есть регрессия значима.

Показатель значимости F составил 0,017, что ниже заданного уровня 0,05. Таким образом, дисперсионный анализ показал, что модель значима. Модель имеет следующий вид:

$$\mathbf{Y = 245{,}20 + 0{,}53 * X1 – 0{,}07 * X2 + 1{,}11*X3.}$$

Далее в исследовании разработана система менеджмента качества автомобильных дорог, при функционировании которой необходимо совершенствовать все её элементы (планирование, управление строительством, технология строительного производства, его организация, организация труда работников). Внедрение данной системы будет способствовать повышению качества дорожного объекта. За счет этого будет получен экономический эффект. Представленная на рисунке 4 система менеджмента качества автомобильных дорог учитывает вышеуказанные элементы, а также этапы строительства дорог, инструменты управления, субъекта и объекта управления, практику управления качеством автомобильных дорог на основе учета стандартов проектного менеджмента (требования Международной ассоциации управления проектами – IPMA) [13, с. 104] и возможные эффекты и эффективность от управления качеством автомобильных дорог с выделением инновационной составляющей.

Говоря об инновации в управлении качеством автомобильной дороги, отдельно стоит выделить те управляющее воздействия, на которые следует особо обратить внимания при включении инновационной составляющей в технологический и производственные процессы.

Рис. 4. Инновационная составляющая в системе менеджмента качества автомобильных дорог (далее в схеме – АД)

Не хватает проработанности по таким направлениям как: статистическая оценка количественных показателей качества АД; методика интегрального инновационного показателя для оценки

качества дорожных работ; схемы лабораторного контроля качества за используемыми инновациями дорожно-строительными материалами; точность измерений при фиксировании результатов использования новых технологий и контроля качества работ; перечень нормативной литературы и форм дополнительной исполнительной документации при выполнении дорожных работ с использованием инновационных технологий. перечень работ, подлежащих отдельному освидетельствованию с составлением соответствующих актов с учетом применения инновационных технологий; регламент управления качеством дорожных работ с применением инновационных технологий.

Схема, представленная на рисунке 4, построена с учетом требований к компетентности профессионалов в управлении проектами (так называемый «Глаз компетентности») [13, с. 104]. В частности, все компетентности в этой схеме относятся к одной из трех сфер компетентности:

- люди (определяют личностные качества, знания, умения и навыки межличностного взаимодействия);
- практика (определяют общие методы и средства, владение которыми необходимо для управления проектами);
- контекст (эти элементы служат навигаторами для профессионалов в работе с окружением, в котором реализуется проект).

Часто срыв сроков сдачи объектов вызван отсутствием в системе менеджмента качества подробно прописанных процедур контроля по каждому из этапов строительства автомобильной дороги.

Для решения указанных проблем предлагаются следующие мероприятия:

- внедрить предложенную систему менеджмента качества автомобильных дорог;
- сформулировать в системе менеджмента качества предприятия функциональные обязанности работников при выполнении процесса;
- разработать процедуру контроля и назначить ответственных за выполнением каждого этапа;

– создать систему премиальных выплат по выполнению строительно-монтажных работ.

На рисунке 5 представлены подробно все возможные виды эффекта и эффективности от управления качеством АД, при этом выделена инновационная составляющая.

Эффект и эффективность от управления качеством АД		
Эффект от управления качеством	**Инновационная составляющая:** Интегральный показатель инновационной деятельности = Доля протяженности автомобильных дорог + Эффективность технологий + Доля примененных энергоэффективных технологий + Количество стандартов, разработанных или актуализированных за отчетный период под внедряемые инновации + Показатель инновационной составляющей в проектно – изыскательских работах	Повышение качества проектирования АД. Повышение качества производства АД. Повышение потребительских характеристик АД. Повышение безопасности дорожного движения. Увеличение цен за качественные работы. Сокращение затрат на гарантийное обслуживание. Сокращение затрат, связанных с исправлением производственного брака. Увеличение объемов строительно-монтажных работ Увеличение объема портфеля заказов. Формирование и повышение имиджа. Увеличение прибыли. Снижение информационных затрат (информация о состоянии качества АД. Сокращение эксплуатационных, технических, технологических затрат по обслуживанию техники. Сокращение материальных затрат по проведению контроля качества материалов и АД. Сокращение затрат, связанных с трудовыми факторами (оценка квалификации, мотивация высокого качества и др.). Снижение организационных затрат по организации производства, труда, управления
Повышение эффективности	**Инновационная составляющая:** Положительная динамика изменения комплексного показателя эффективности по направлениям: снижение аварийности, повышение энергоэффективности на объектах компании, реализации новых форм долгосрочных контрактов, развития многофункциональных зон дорожного сервиса	*Увеличение рентабельности производства. Увеличение внутренней нормы доходности. Увеличение индекса прибыльности и др.*

Рис. 5. Эффект и эффективность от управления качеством автомобильных дорог

Выводы

Разработанные в данном исследовании модель зависимости безопасности дорожного движения и система менеджмента ка-

чества автомобильных дорог, направленные на повышение безопасности дорожного движения, могут быть использованы при принятии управленческих решений как в отдельной организации, так и в отрасли в целом. В результате реализации инновационной деятельности дорожного хозяйства улучшатся транспортно-эксплуатационные характеристики автомобильных дорог, повысится безопасность дорожного движения, сократятся затраты на строительство, реконструкция, ремонт и содержание автомобильных дорог за счет использования инновационных материалов, ресурсо- и энергосберегающих технологий.

Список литературы

1. Ахтямов Э.Р., Дедюхин А.Ю., Кошкаров Е.В. Организация контроля качества автомобильных дорог с использованием лабораторий информационной менеджмент-системы U-LAB // Инновационный транспорт. 2021. № 1 (39). С. 55-62.
2. Гавриш В.В. Формирование рациональной системы управления качеством дорожных работ: Дис. … кандидата экон. наук. Новосибирск, 2003. 170 с.
3. Домнина С.В. Методологические аспекты управления процессом формирования общественного благосостояния на региональном уровне: Автореф. дис. … д-ра экон. наук. СПб, 2011. 47 с.
4. Дормидонтова Т.В., Мануйлов М.А. Исследование параметров обеспечения качества автомобильных дорог // Тенденции развития науки и образования. 2020. № 66-2. С. 15-19.
5. Доценко А.И. Система комплексного контроля и управления качеством асфальтобетонной смеси при строительстве автомобильных дорог // ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2016 (International building technics-2016): материалы Международной научно-технической конференции. М., 2016. С. 98-104.
6. Елисеев А.Н. Управление качеством строительства, эксплуатации и реконструкции автомобильных дорог // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки: материалы Всероссийской конференции с международным участием. М.,

2019. С. 250-254.
7. Коков А.П., Гавриш В.В. Управление качеством при возведении земляного полотна автомобильной дороги // Современные инновации в науке и технике: сборник научных трудов 9-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Курск, 2019. С. 175-181.
8. Коротаев Д.Н., Иванова Е.В. Применение инструментов управления качеством при реализации строительных проектов // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: сборник материалов IV Национальной научно-практической конференции. Омск, 2021. С. 693-698.
9. Леонович И.И., Кашевская Е.В. Концепция управления качеством автомобильных дорог // Вестник Белорусского национального технического университета. 2006. № 3. С. 5-13.
10. Отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия «Анализ применения новых, экономически целесообразных, долговечных материалов и технологий при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог общего пользования в 2018–2020 годах», утвержден Коллегией Счетной палаты Российской Федерации 29 июня 2021 года // Сайт Счетной палаты Российской Федерации. URL: https://ach.gov.ru/upload/iblock/67d/ap67p4spuhjz179h0jbnjtb66pvlptlc.pdf?ysclid=l1uxx8j5br (дата обращения: 09.04.2022).
11. Петрова Н.Е. Управление качеством строительства автомобильных дорог и проблемы, с которыми сталкивается организация в данной области // Актуальные аспекты модернизации российской экономики: сборник научных трудов по материалам VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. СПб., 2019. С. 115-118.
12. Транспорт в России – 2020 г. // Федеральная служба государственной статистики. URL: https://gks.ru/bgd/regl/B20_55/Main.htm (дата обращения: 17.12.2021)
13. Требования IPMA к компетентности профессионалов в управлении проектами, программами и портфелями 4-я версия. В трех

томах. Том 1. Управление проектами // СОВНЕТ. Национальная ассоциация управления проектам. URL: https://www.sovnet.ru/media/Main/Publication/2020-08-05/ICB%204_0%20%D1%80%D1%83%D1%81%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B8%CC%86.pdf (дата обращения: 26.03.2022).
14. Borovik A.V., Sedova A.S. Innovative activity in the road sector and the strategy for the development of such activity // Vestnik SibADI. 2018. Volume 15, no 4. Pp. 548-559. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2018-4-548-559
15. Dormidontova T.V., Evdokimov S.V. Rationale for statistical characteristics of road safety parametrs // RSP 2017 – XXVI R-S-P Seminar 2017 Theoretical Foundation of Civil Engineering. MATEC Web of Conferences. 2017. Volume 117: 00040. https://doi.org/10.1051/matecconf/201711700040
16. Imprialou M., Quddus M. Crash data quality for road safety research: Current state and future directions // Accident Analysis & Prevention. 2019. Volume 130. Pp. 84-90. https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.02.022
17. Jiang F., Ma L., Broyd T., Chen W., Luo H. Digital twin enabled sustainable urban road planning // Sustainable Cities and Society. 2022. Volume 78: 103645. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103645
18. Sari Y., Yudhistira M.H. Bad light, bad road, or bad luck? The associations of road lighting and road surface quality on road crash severities in Indonesia // Case Studies on Transport Policy. 2021. Volume 9. Pp. 1407-1417. https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.07.014
19. Solodkiy A., Gorev A. Determination of basic factors for the successful implementation of the safe and high-quality roads project // Transportation Research Procedia. 2018. Volume 36. Pp. 741-746. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.097
20. Wheat P. Scale, quality and efficiency in road maintenance: Evidence for English local authorities // Transport Policy. 2017. Volume 59, October. Pp. 46-53. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.06.002.

References

1. Ahtyamov E.R., Dedyuhin A.Yu., Koshkarov E.V. *Innovacionnyj transport,* 2021, no. 1 (39), pp. 55-62.

2. Gavrish V.V. *Formirovanie racionalnoj sistemy upravleniya kachestvom dorozhnyh rabot:* dissertaciya na soiskanie uchyonoj stepeni kandidata ekonomicheskih nauk [Formation of a rational quality management system for road works]. Novosibirsk, 2003, 170 p.
3. Domnina S.V. *Metodologicheskie aspekty upravleniya processom formirovaniya obshestvennogo blagosostoyaniya na regionalnom urovne*: avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora ekonomicheskih nauk [Methodological aspects of management of the process of formation of public welfare at the regional level]. Sankt-Peterburg, 2011, 47 p.
4. Dormidontova T.V., Manuilov M.A. *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya,* 2020, no. 66-2, pp. 15-19.
5. Docenko A.I. *INTERSTROJMEH-2016 (International building technics-2016): materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii* [INTERSTROJMEH-2016 (International building technics-2016): Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. Moscow, 2016, pp. 98-104.
6. Eliseev A.N. *Sovremennoe sostojanie, problemy i perspektivy razvitija otraslevoj nauki: materialy Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem* [The Current State, Problems and Prospects of Branch Science Development: Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation]. Moscow, 2019, pp. 250-254.
7. Kokov A.P., Gavrish V.V. *Sovremennye innovacii v nauke i tehnike: sbornik nauchnyh trudov 9-j Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem* [Modern innovations in science and technology: Proceedings of the 9th All-Russian Scientific and Technical Conference with International Participation]. Kursk, 2019, pp. 175-181.
8. Korotaev D.N., Ivanova E.V. *Obrazovanie. Transport. Innovacii. Stroitelstvo: sbornik materialov IV Nacional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii* [Education. Transportation. Innovation. Construction: Proceedings of the IV National Scientific and Practical Conference]. Omsk, 2021, pp. 693-698.
9. Leonovich I.I., Kashevskaya E.V. *Vestnik Belorusskogo nacionalnogo tehnicheskogo universiteta,* 2006, no. 3, pp. 5-13.

10. *Otchet o rezul'tatah jekspertno-analiticheskogo meroprijatija «Analiz primenenija novyh, jekonomicheski celesoobraznyh, dolgovechnyh materialov i tehnologij pri stroitel'stve, rekonstrukcii, kapital'nom remonte i remonte avtomobil'nyh dorog obshhego pol'zovanija v 2018–2020 godah», utverzhden Kollegiej Schetnoj palaty Rossijskoj Federacii 29 ijunja 2021 goda* [Report on the results of the expert and analytical event "Analysis of the use of new, economically viable, durable materials and technologies in the construction, reconstruction, overhaul and repair of public roads in 2018-2020", approved by the College of the Accounts Chamber of the Russian Federation on June 29, 2021]. https://ach.gov.ru/upload/iblock/67d/ap67p4spuhjz179h0jbnjtb66pvlptlc.pdf?ysclid=l1uxx8j5br (accessed April 9, 2022).
11. Petrova N.E. *Aktualnye aspekty modernizacii rossijskoj ekonomiki: sbornik nauchnyh trudov po materialam VI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh* [Current aspects of the modernization of the Russian economy: collection of scientific papers on the materials of the VI All-Russian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists]. St. Petersburg, 2019, pp. 115-118.
12. *Transport v Rossii – 2020 g.* [Transport in Russia - 2020]. https://gks.ru/bgd/regl/B20_55/Main.htm (accessed April 7, 2022).
13. *Trebovanija IPMA k kompetentnosti professionalov v upravlenii proektami, programmami i portfeljami 4-ja versija. V treh tomah. Tom 1. Upravlenie proektami* [IPMA Competency Requirements for Professionals in Project, Program and Portfolio Management 4th Edition. In three volumes. Vol. 1. Project Management]. https://www.sovnet.ru/media/Main/Publication/2020-08-05/ICB%204_0%20%D1%80%D1%83%D1%81%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B8%CC%86.pdf (accessed April 7, 2022).
14. Borovik A.V., Sedova A.S. *Vestnik SibADI,* 2018, vol. 15, no. 4, pp. 548-559. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2018-4-548-559 (accessed April 9, 2022).
15. Dormidontova T.V., Evdokimov S.V. *RSP 2017 – XXVI R-S-P Seminar 2017 Theoretical Foundation of Civil Engineering. MATEC Web of Conferences,* 2017, vol. 117, 00040. https://doi.org/10.1051/matecconf/201711700040 (accessed April 7, 2022).

16. Imprialou M., Quddus M. *Accident Analysis & Prevention*, 2019, vol. 130, pp. 84-90. https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.02.022 (accessed April 7, 2022).
17. Jiang F., Ma L., Broyd T., Chen W., Luo H. *Sustainable Cities and Society,* 2022, vol. 78, 103645. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103645 (accessed April 7, 2022).
18. Sari Y., Yudhistira M.H. *Case Studies on Transport Policy*, 2021, vol. 9, pp. 1407-1417. https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.07.014 (accessed April 7, 2022).
19. Solodkiy A., Gorev A. *Transportation Research Procedia,* 2018, vol. 36, pp. 741-746. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.097 (accessed April 7, 2022).
20. Wheat P. *Transport Policy,* 2017, vol. 59, pp. 46-53. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.06.002 (accessed April 7, 2022).

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Домнина Светлана Валентиновна, профессор кафедры «Землеустройство и кадастры», доктор экономических наук
Самарский государственный экономический университет
ул. Советской Армии, 141, г. Самара, Самарская область, 443090, Российская Федерация
swdomnina@mail.ru

Савоскина Елена Владимировна, доцент кафедры менеджмента и инноваций, кандидат экономических наук
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
ул. Ярославское шоссе, 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация
savoskina@mail.ru

Гужова Оксана Александровна, доцент кафедры стоимостного инжиниринга и технической экспертизы зданий и сооружений, кандидат экономических наук

Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
ул. Молодогвардейская, 244, г. Самара, Самарская область, 443100, Российская Федерация
guzhova_oksana@inbox.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Svetlana V. Domnina, Professor «Land Management and Cadastre», Doctor of Economic Sciences
Samara State University of Economics
141, Soviet Army Str., Samara, Samara Region, 443090, Russian Federation
swdomnina@mail.ru
SPIN-code: 4831-5471
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3805-5651
ResearcherID: N-8172-2016
Scopus Author ID: 57192559913

Elena V. Savoskina, Associate Professor of Department of Management and Innovation, PhD in Economics
Moscow State Construction University (National Research University)
26, Yaroslavskoye Shosse Str., Moscow, 129337, Russian Federation
savoskina@mail.ru
SPIN-code: 9898-7561
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7723-0793
ResearcherID: N-6294-2016
Scopus Author ID: 57192541660

Oksana A. Guzhova, Associate Professor of Department of Value Engineering and Technical Expertise of Buildings and Structures, PhD in Economics
Samara State Technical University

Architecture and Civil Engineering Academy
244, Molodogvardeyskaya Str., Samara, Samara Region, 443100, Russian Federation
guzhova_oksana@inbox.ru
SPIN-code: 9898-7561
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7717-3653
ResearcherID: N-8429-2016
Scopus Author ID: 57208085464

Поступила 20.04.2022
После рецензирования 25.04.2022
Принята 30.04.2022

Received 20.04.2022
Revised 25.04.2022
Accepted 30.04.2022

 Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-2-110-119
УДК 66.074

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЦЕПИ АППАРАТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА С ВИБРОКИПЯЩИМ СЛОЕМ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ

Г.И. Свердлик, А.С. Выскребенец, А.А. Рево

При анализе компонентов газовых выбросов металлургических предприятий общепринято считать, что наиболее вредным для окружающей экосистемы является диоксид серы, улавливание которого является актуальной проблемой. Целью разработки является проектирование схемы цепи аппаратов для снижения выбросов токсичных газов металлургических предприятий с использованием новых технологических решений на примере очистки обжиговых газов от диоксида серы в производстве молибдена. Схема включает разработанный адсорбер с виброкипящим слоем адсорбента, в качестве которого рекомендуются железомарганцевые конкреции (ЖМК), которые обладают преимуществами перед другими адсорбентами, включая активированный уголь. При наличии в схеме аппарата для переработки отработанного адсорбента возможно получение элементарной серы, а далее ЖМК следует рассматривать как марганцевые концентраты и сырье для комплексного извлечения сопутствующих элементов: меди, никеля, кобальта. Линия может быть использована на металлургических предприятиях с обжигом сульфидных руд, а также в других производствах, осуществляющих выбросы газов с диоксидом серы.

Ключевые слова: *газовые выбросы; очистка от диоксида серы; адсорбционный метод; адсорбер; виброкипящий слой; адсорбент; железомарганцевые конкреции*

DEVELOPMENT OF A SCHEME FOR A CHAIN OF DEVISES FOR GAS EMISSIONS CLEANING FROM METALLURGICAL PLANTS USING AN APPARATUS WITH A VIBROBOILING BED OF FERROMANGANESE NODULES

G.I. Sverdlik, A.S. Viskrebenets, A.A. Revo

In the analysis of the components of gas emissions from metallurgical industries, it is generally accepted that sulphur dioxide is the most harmful to the surrounding ecosystem, and its capture is a pressing problem. The aim of the development is to design a circuit diagram of devices chain for reducing the emissions of toxic gases from metallurgical plants using new technological solutions on the example of purification of roasting gases from sulphur dioxide in the production of molybdenum. The scheme includes an adsorber developed with a vibrating adsorbent layer, which is recommended for ferromanganese nodules (FMN), which have advantages over other adsorbents, including activated carbon. In the case of a spent adsorbent treatment system, elemental sulfur can be produced in the circuit, and FMN should then be considered as manganese concentrates and feedstock for the complex recovery of the associated elements: copper, nickel, cobalt. The line can be used in smelters firing sulphide ores, as in other industries emitting gases with sulphur dioxide as well.

Keywords: *gas emissions; sulfur dioxide cleaning; adsorption method; adsorber; vibroboiling bed; adsorbent; ferromanganese nodules*

Введение

Защита окружающей экосистемы от источников загрязнений является актуальной задачей. Такими источниками в своем большинстве являются металлургические предприятия, на долю которых приходится более 50% общих газовых выбросов в атмосферу.

В Северо-Кавказском горно-металлургическом институте (государственном технологическом университете) проводятся ис-

следовательские работы по улавливанию вредных компонентов газовых выбросов металлургических заводов.

Одной из практически нерешенных проблем очистки газов металлургических предприятий является очистка газов от диоксида серы, образующегося при горении серосодержащего сырья и топлива. При обжиге концентратов цветных металлов (меди, цинка, молибдена и других) часть обжиговых газов с низким содержанием диоксида серы (менее 3%), не пригодном для производства серной кислоты, в настоящее время выбрасывается в атмосферу. Диоксид серы является главным фактором образования кислотных дождей, приводящих к катастрофическим последствиям для окружающей среды и нарушениям в состоянии здоровья населения.

Цель работы

Целью является разработка схемы цепи аппаратов для снижения выбросов токсичных газов металлургических предприятий с использованием новых технологических и конструктивных решений на примере очистки обжиговых газов от диоксида серы в производстве молибдена.

Материалы и методы исследования

Сравнительный анализ методов очистки газов: термического дожигания, адсорбции, абсорбции, биохимического и других показал, что одним из перспективных способов является адсорбционный (особенно при небольшом объеме газовых выбросов, как, например, в молибденовом производстве). К преимуществам процесса адсорбции относятся высокая избирательность и обратимость, что представляет возможность поглощения из газовой смеси одного или нескольких компонентов и далее выделение их из поглотителей и регенерацию адсорбентов.

В промышленности при газоочистке чаще применяются активированные угли. Однако в начале XXI века появилось новое поколение адсорбентов – железомарганцевые конкреции (ЖМК). ЖМК – минеральные образования, образующиеся на дне морей и океанов. В настоящее время разрабатываются способы и обо-

рудование для промышленной добычи ЖМК [1]. Исследования [2] свидетельствуют о перспективности использования ЖМК для очистки газов от сернистых соединений. ЖМК обладают преимуществами перед активированным углем: значительной адсорбционной емкостью из-за развитой поверхностной структуры и высокой поверхностной активности и возможным направлением на переработку отработанного адсорбента на получение элементарной серы и марганцевого концентрата [3].

Слой адсорбента в газоочистителе может быть в различных состояниях: неподвижном, перемешиваемом механическими устройствами кипящим, создаваемым определенным давлением газа. В кипящем слое интенсифицируются массообменные процессы, так как площадь контакта газа с частицами адсорбента увеличивается в десятки раз по сравнению с неподвижным слоем.

В Северо-Кавказском горно-металлургическом институте (государственном технологическом университете) разработан и запатентован способ очистки газов в виброкипящем слое адсорбента [4]. Виброкипящий слой создается в зонах между полками аппарата вертикальными колебаниями полок, сообщаемыми им от вибратора, установленного на корпусе аппарата, сконструированного на основании результатов теоретических и экспериментальных исследований [5-7, 11-15]. Полки аппарата снабжены механизмом регулирования угла наклона для создания условий для пересыпания адсорбента с полки на полку.

На базе предложенного способа очистки газов с применением нового поколения адсорбентов на основе ЖМК и новых разработок по получению элементарной серы из газов с содержанием диоксида серы [8], разработана схема цепи аппаратов для очистки обжиговых газов на примере молибденового производства (рисунок 1).

Газы, выходящие из печи обжига концентратов, очищаются от пыли в циклоне 1 и электрофильтре 4. Температура газов на выходе из фильтров ~ 200°С. Пыль из сборников 2 под электрофильтром и циклоном, как правило, содержащую рений, следует направлять на его извлечение.

 Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

Из фильтров газы попадают в адсорбер 5, в котором находятся ЖМК в состоянии виброкипения. С помощью заслонки 7 создается циркуляция адсорбентов на время их защитного действия, которая по ориентировочным расчетам и данным исследований [9] составляет 5-6 суток. Далее заслонки 6 и 7 переключаются, и отработанные ЖМК из адсорбера поступают в колонну 8, которая работает периодически. В ней осуществляется термическая обработка отработанных ЖМК. При температуре порядка 300°С диоксид серы разрушается, и сера испаряется. Конденсация паров элементарной серы реализуется в другой части колонны при температуре, близкой к 160°С [10], и жидкая сера сливается в приемник.

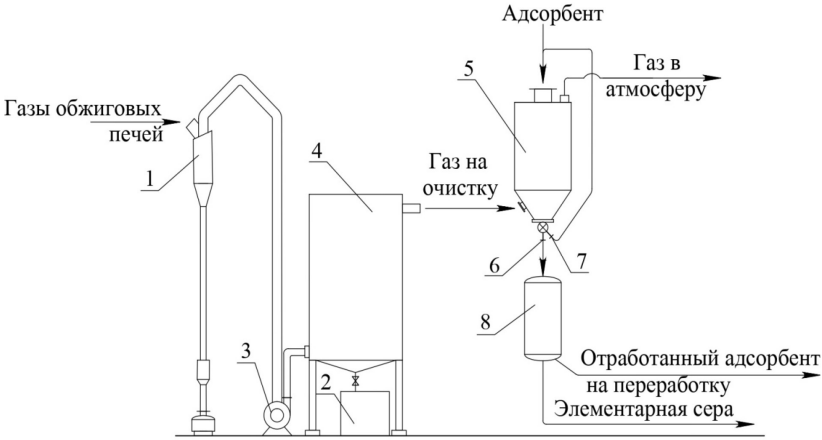


Рис. 1. Схема цепи аппаратов очистки обжиговых газов и извлечения серы в производстве молибдена

1 – циклон, 2 – сборник пыли, 3 – дымосос, 4 – электрофильтр, 5 – адсорбер, 6 и 7 – заслонки, 8 – колонна для извлечения серы из отработанного адсорбента

В процессе разгрузки из адсорбера отработанных адсорбентов в колонну 8, чтобы не прекращалась очистка газов, в адсорбер одновременно подается порция свежих ЖМК.

При окончании извлечения серы колонна разгружается, и отработанные ЖМК направляются на производство марганцевого концентрата (в ЖМК содержание марганца до 30%).

Результаты исследования

Предложенная цепь аппаратов позволяет купировать выбросы диоксида серы в окружающую атмосферу и для рассматриваемого процесса реализовать принцип безотходного производства.

Отработанные адсорбенты могут служить сырьем для доизвлечения цветных металлов – никеля до 1,5%, меди до 1,5%, кобальта до 0,5%.

Заключение

Разработанная схема цепи аппаратов может быть кроме металлургии рекомендована для применения в теплоэнергетике, нефтегазовом комплексе и других производствах, осуществляющих выбросы газов с диоксидом серы.

Список литературы

1. Кириченко Ю.В., Каширский А.С. Кассетный трал для промышленной добычи железомарганцевых конкреций океанического дна // Горный журнал, 2015. №12. С. 56-61.
2. Катков А.Л., Маслов Е.И., Коптенармусов В.Б. и др. Новое поколение адсорбентов на основе железомарганцевых конкреций (ЖМК) для очистки газов от сернистых соединений. URL: https://waste.ua/cooperation/2007/theses/katkov.html.
3. Изотова Н.С., Леонов А.А., Смирнов А.А., Дарьин А.А. Очистка отходящих газов металлургического производства от серосодержащих компонентов // СПб. Записки Горного института, №192, 2011. С.85-87.
4. Свердлик Г.И., Выскребенец А.С., Фомин А.Н. Способ очистки газов. Патент РФ №213222. БИ №18, 1999.
5. Свердлик Г.И., Выскребенец А.С., Рево А.А. Разработка аппарата для повышения эффективности систем газоочистки металлургических предприятий // Цветная металлургия, 2003, №3. С.27-28.
6. Свердлик Г.И., Рево А.А., Каменецкий Е.С. Структура виброожиженного слоя сыпучего материала // Известия вузов Северо-Кавказский регион, Технические науки, 2010, №3. С. 105-106.
7. Рево А.А., Свердлик Г.И. Проектирование металлургических процессов и оборудования с применением метода системного анализа

// Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные научные исследования в современном мире (Recent Research in the Modern World») (София, Болгария) – Нефтекамск, Научно-издательский центр «Мир науки», 2018. С. 69-74.
8. Способ получения элементарной серы из отходящих газов, содержащих диоксид серы. URL: www. findpatent.ru/patent/222/2221728.html
9. Мазгаров А.М., Корнетова О.М. Технологии очистки попутного нефтяного газа от сероводорода. Казань, Казанский университет, 2015, 70 с.
10. Способ извлечения серы из газа. URL: www.findpatent.ru/patent/223/2232128.html
11. Tatemoto Y., Mawatari Y., Yasukawa T., Noda K. Numerical simulation of particle motion in vibrated fluidized bed // Chem. Eng. Science, 2004, V.59, pp. 437-447.
12. Martin T.W., Huntley J.M., Wildman R.D. Hydrodynamic model for a vibrofluidized granular bed // J. Fluid Mech., 2005, V. 535, pp. 325-345.
13. Halvorsen B. An experimental and computational study of flow behavior in bubbling fluidized beds // Porsgrunn, april, 2005, URL: http://teora.hit.no/dspace/bitstrtream/2282/301/1/Thesis_15_07ny.2005.pdf.
14. Daleffe R.V., Ferreira M.C., Freire J.T. Analysis of the effect of particle size distribution on the fluid dynamics behavior and segregation patterns of fluidized, vibrated and vibrofluidized beds // Asia-Pac. J. Chem. Eng., 2007, V.2, pp. 3-11.
15. Min J., Drake J.B., Heindel Th.J., Fox R.O. Experimental validation of CFD simulation of a Lab-Scale fluidized bed reactor with and without side-gas injection // AIChE Journal, 2010, V.56, No.6, pp. 1434-1446.

References

1. Kirichenko Y.V., Kashirsky A.S. Kassetniy tral dlya promyshlennoy dobychi zhelezomargancevyh konkreciy okeanicheskogo dna [Cassete trawl for industrial mining of ferromanganese nodules of ocean floor]. *Gorniy zhurnal* [Mountain magazine], 2015, no.12, pp. 56-61.
2. Katkov A.L., Maslov E.I., Kaptenarmusov V.B. Novoe pokolenie adsorbentov na osnove zhelezomargancevykh konkreciy (ZHMK) dlya ochist-

ki gazhov ot sernisnykh soedineniy [New generation of adsorbents based on ferromanganese nodules (FMN) for cleaning gases from sulfur compounds]. URL: https://waste.ua/cooperation/2007/theses/katkov.html

3. Izotova N.S., Leonov A.A., Smirnov A.A., Darin A.A. Ochistka otkhodyashchikh gazov metallurgicheskogo proizvodstva ot serosoderzhashchikh komponentov [Exhaust gas cleaning of metallurgical production from sulfur-containing components]. SPb. *Zapiski Gornogo instituta* [Notes of the Mining Institute], 2011, no. 192, pp. 85-87.
4. Sverdlik G.I., Viskrebenets A.S., Fomin A.N. *Sposob ochistki gazov* [Gas purification method]. Patent RF no 213222. BI [Bulletin of inventions], 1999, no 18.
5. Sverdlik G.I., Viskrebenets A.S., Revo A.A. Razrabotka apparata dlya povysheniya effectivnosti system gazoochistki metallurgicheskikh predpriyatiy [Development of an apparatus for increasing the efficiency of the gas cleaning system of metallurgical enterprises]. *Tsvetnaya metallurgiya* [Non-ferrous metallurgy], 2003, no. 3, pp. 27-28.
6. Sverdlik G.I., Revo A.A., Kamenetskiy E.S. Struktura vibroozhizhennogo sloya sypuchego materiala [Structure of the vibrofluidized bed of bulk material]. *Izvestiya vuzov Severo-Kavkazskiy region. Techniche-skie nauki* [Proceedings of universities North Caucasus region. Technical science], 2010, no. 3, pp. 105-106.
7. Revo A.A., Sverdlik G.I. Proektirovanie metallurgicheskikh prozessov i oborudovaniya s primeneniem metoda sistemnogo analiza [Design of metallurgical processes and equipment using the method of system analysis]. *Materialy Mezhdunapodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* «*Aktualnye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire*» [Materials of the International scientific and practical conference «Actual scientific research in the modern world»]. Sofiya – Neftekamsk, Mir nauki Publ., 2018, pp. 69-74.
8. Method for obtaining elemental sulfur from exhaust gases containing sulfur dioxide. URL: www.findpatent.ru/patent/222/2221728.html
9. Mazgarov A.M., Kornetova O.M. *Tekhnologii ochistki poputnogo neftyanogo gaza ot serovodoroda* [Technologies for purification of associated petroleum gas from hydrogen sulfide]. Kazan, Kazanskiy universitet Publ., 2015, 70 p.

10. Method for extracting sulfur from gas. URL: www.findpatent.ru/patent/223/2232128.html
11. Tatemoto Y., Mawatari Y., Yasukawa T., Noda K. Numerical simulation of particle motion in vibrated fluidized bed. *Chem. Eng. Science,* 2004, vol. 59, pp. 437-447.
12. Martin T.W., Huntley J.M., Wildman R.D. Hydrodynamic model for a vibrofluidized granular bed. J. Fluid Mech., 2005, vol. 535, pp. 325-345.
13. Halvorsen B. An experimental and computational study of flow behavior in bubbling fluidized beds. Porsgrunn, april, 2005, URL: http://teora.hit.no/dspace/bitstrtream/2282/301/1/Thesis_15_07ny.2005.pdf.
14. Daleffe R.V., Ferreira M.C., Freire J.T. Analysis of the effect of particle size distribution on the fluid dynamics behavior and segregation patterns of fluidized, vibrated and vibrofluidized beds. Asia-Pac. *J. Chem. Eng.,* 2007, vol. 2, pp. 3-11.
15. Min J., Drake J.B., Heindel Th.J., Fox R.O. Experimental validation of CFD simulation of a Lab-Scale fluidized bed reactor with and without side-gas injection. AIChE Journal, 2010, vol. 56, no. 6, pp. 1434-1446.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Свердлик Григорий Иосифович, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», доктор технических наук
Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)
ул. Николаева, 44, г. Владикавказ, 362021, Российская Федерация
grigory.sverdlik@gmail.com

Выскребенец Александр Степанович, заведующий кафедрой «Технологические машины и оборудование», доктор технических наук, профессор
Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)
ул. Николаева, 44, г. Владикавказ, 362021, Российская Федерация
sasha.viskrebenets51@yandex.ru

Рево Алексей Альбертович, доцент кафедры «Теоретическая и прикладная механика», кандидат технических наук
Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)
ул. Николаева, 44, г. Владикавказ, 362021, Российская Федерация
cavcundar@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Grigoriy I. Sverdlik, Professor of the department «Technological machines and equipment», Doctor of Technical Sciences, Professor
North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University)
44, Nikolaev Str., Vladikavkaz, 362021, Russian Federation
grigory.sverdlik@gmail.com

Alexander S. Viskrebenets, Head of the department «Technological machines and equipment», Doctor of Technical Sciences, Professor
North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University)
44, Nikolaev Str., Vladikavkaz, 362021, Russian Federation
sasha.viskrebenets51@yandex.ru

Alexey A. Revo, Associate professor of the department «Theoretical and applied mechanics», Candidate of technical sciences
North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University)
44, Nikolaev Str., Vladikavkaz, 362021, Russian Federation
cavcundar@mail.ru

Поступила 05.04.2022
После рецензирования 08.04.2022
Принята 12.04.2022

Received 05.04.2022
Revised 08.04.2022
Accepted 12.04.2022

 Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

AUTHOR GUIDELINES

http://ijournal-as.com/

Volume of the manuscript: 7-24 pages A4 format, including tables, figures, references; for post-graduates pursuing degrees of candidate and doctor of sciences – 7-10.

Margins all margins – 20 mm each
Main text font Times New Roman
Main text size 14 pt
Line spacing 1.5 interval
First line indent 1,25 cm
Text align justify
Automatic hyphenation turned on
Page numbering turned off
Formulas in formula processor MS Equation 3.0
Figures in the text
References to a formula (1)

Article structure requirements

TITLE (in English)
Author(s): surname and initials (in English)
Abstract (in English)
Keywords: separated with semicolon (in English)
Text of the article (in English)
1. Introduction.
2. Objective.
3. Materials and methods.
4. Results of the research and Discussion.
5. Conclusion.
6. Conflict of interest information.
7. Sponsorship information.

8. Acknowledgments.

References

References text type should be Chicago Manual of Style

DATA ABOUT THE AUTHORS

Surname, first name (and patronymic) in full, job title, academic degree, academic title

Full name of the organization – place of employment (or study) without compound parts of the organizations' names, full registered address of the organization in the following sequence: street, building, city, postcode, country

E-mail address

SPIN-code in SCIENCE INDEX:

ORCID:

ResearcherID:

Scopus Author ID:

 Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

http://ijournal-as.com/

Объем статей: 7-12 страницы формата А4, включая таблицы, иллюстрации, список литературы; для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук – 7-9. Рукописи большего объема принимаются по специальному решению Редколлегии.

Поля все поля – по 20 мм.
Шрифт основного текста Times New Roman
Размер шрифта основного текста 14 пт
Межстрочный интервал полуторный
Отступ первой строки абзаца 1,25 см
Выравнивание текста по ширине
Автоматическая расстановка переносов включена
Нумерация страниц не ведется
Формулы в редакторе формул MS Equation 3.0
Рисунки по тексту
Ссылки на формулу (1)

Обязательная структура статьи
УДК

ЗАГЛАВИЕ (на русском языке)

Автор(ы): фамилия и инициалы (на русском языке)

Аннотация (на русском языке)
Ключевые слова: отделяются друг от друга точкой с запятой (на русском языке)

ЗАГЛАВИЕ (на английском языке)
Автор(ы): фамилия и инициалы (н аанглийском языке)

Аннотация (на английском языке)

Ключевые слова: отделяются другот друга точкой с запятой (на английском языке)

Текст статьи (на русском языке)

1. Введение.

2. Цель работы.

3. Материалы и методы исследования.

4. Результаты исследования и их обсуждение.

5. Заключение.

6. Информация о конфликте интересов.

7. Информация о спонсорстве.

8. Благодарности.

Список литературы

Библиографический список по ГОСТ Р 7.05-2008

References

Библиографическое описание согласно требованиям журнала

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: улица, дом, город, индекс, страна (на русском языке)

Электронный адрес

SPIN-код в SCIENCE INDEX:

DATA ABOUT THE AUTHORS

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций,полный юридический адрес организации в следующей последовательности: дом, улица, город, индекс, страна (на английском языке)

Электронный адрес

 Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

СОДЕРЖАНИЕ

РОБАСТНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ
ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ
А.А. Власов 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ
И РАЗРУШЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМОБИЛЯ
В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ
Л.А. Кияшко, В.А. Ксенофонтова 21

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ПАССИВНОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ
ПО КРИТЕРИЮ – ТРАВМИРОВАНИЕ ЧЕЛОВЕКА
В ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЯХ
Т.В. Коновалова, А.Е. Литвинов, Э.Ю. Балаев,
И.С. Сенин, М.П. Миронова 36

ЭЛЕМЕНТЫ ДОРОЖНОЙ
ИНФРАСТРУКТУРЫ И ВЛИЯНИЕ ИХ
НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ
Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, А.А. Изюмский,
С.В. Коцурба 49

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УЧЕТА
ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ
Т.В. Рихтер, А.В. Белоус 69

ИННОВАЦИОННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ
В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
С.В. Домнина, Е.В. Савоскина, О.А. Гужова 86

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЦЕПИ АППАРАТОВ
ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ
МЕТАЛЛУРГИЧЕКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА С ВИБРОКИПЯЩИМ
СЛОЕМ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ
Г.И. Свердлик, А.С. Выскребенец, А.А. Рево 110

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 120

 Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

CONTENTS

ROBUST FORECASTING OF TRAFFIC FLOW INTENSITY
A.A. Vlasov 7

RESEARCH OF DEFORMATION AND DESTRUCTION OF CAR ELEMENTS UNDER EXTREME CONDITIONS
L.A. Kiyashko, V.A. Ksenofontova 21

FEATURES OF PASSIVE SAFETY ASSESSMENT OF VEHICLES BY THE CRITERION – HUMAN INJURY IN ROAD TRAFFIC ACCIDENTS
T.V. Konovalova, A.E. Litvinov, E.Yu. Balaev, I.S. Senin, M.P. Mironova 36

ELEMENTS OF ROAD INFRASTRUCTURE AND THEIR IMPACT ON ROAD SAFETY
T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, A.A. Izyumskiy, S.V. Kotsurba 49

AUTOMATION OF THE EQUIPMENT ACCOUNTING PROCESS AT THE ENTERPRISE
T.V. Richter, A.V. Belous 69

INNOVATIVE COMPONENT IN THE ROAD QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
S.V. Domnina, E.V. Savoskina, O.A. Guzhova 86

DEVELOPMENT OF A SCHEME FOR A CHAIN OF DEVISES FOR GAS EMISSIONS CLEANING FROM METALLURGICAL PLANTS USING AN APPARATUS WITH A VIBROBOILING BED OF FERROMANGANESE NODULES
G.I. Sverdlik, A.S. Viskrebenets, A.A. Revo 110

RULES FOR AUTHORS 120

Доступ к журналу

Доступ ко всем номерам журнала –
постоянный, свободный и бесплатный.
Каждый номер содержится в едином файле PDF.

Open Access Policy

All issues of the International Journal of Advanced Studies:
Transport and Information Technologies are always open and free access.
Each entire issue is downloadable as a single PDF file.

http://ijournal-as.com/

Подписано в печать 30.06.2022. Дата выхода в свет 30.06.2022. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 9,12. Тираж 999 экз. Свободная цена. Заказ 122/022. Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии «Издательство «Авторская Мастерская». Адрес типографии: ул. Пресненский Вал, д. 27 стр. 24, г. Москва, 123557 Россия.