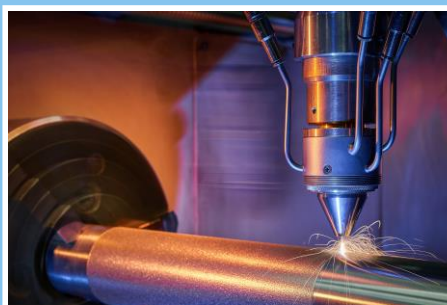
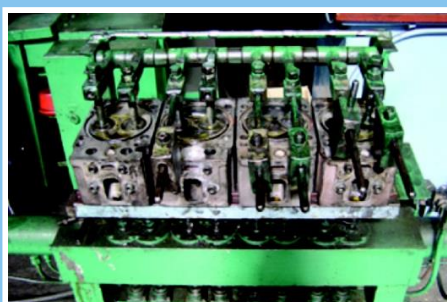


ВНТВ

Воронежский научно-технический вестник
3 (49) сентябрь 2024



Научно-технический
журнал ⁽¹²⁾

Издается с 2012 года

Выходит четыре раза в год

Учредитель - федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Главный редактор:
Кадырметов А.М. д.т.н., доцент

Заместителя главного редактора:
Дорохин С.В. д.т.н., доцент

Отв. секретарь:
Попов Д.А. к.т.н., доцент

Редакция:
Смоленцев Е.В. д.т.н., профессор
(г. Воронеж, Российская Федерация)
Козлов А.М. д.т.н., профессор
(г. Липецк, Российская Федерация)
Лебедев В.А. к.т.н., профессор
(г. Ростов-на-Дону, Российская
Федерация)

Кузовкин А.В. д.т.н., профессор
(г. Воронеж, Российская Федерация)
Болдырев А.И. д.т.н. профессор
(г. Воронеж, Российская Федерация)
Сухочев Г.А. д.т.н., профессор
(г. Воронеж, Российская Федерация)

Кириллов О.Н. д.т.н., профессор
(г. Воронеж, Российская Федерация)
Куц В.В. д.т.н., доцент
(г. Курск, Российская Федерация)
Терентьев А.В. д.т.н., доцент
(г. Санкт-Петербург, Российская
Федерация)

Клявин В.Э. д.т.н., доцент
(г. Липецк, Российская Федерация)
Рассоха В.И. д.т.н., доцент
(г. Оренбург, Российская Федерация)

Новиков И.А. д.т.н., доцент
(г. Белгород, Российская Федерация)
Евтюков С.С. д.т.н., доцент
(г. Санкт-Петербург, Российская
Федерация)

Агеев Е.В. д.т.н., профессор
(г. Курск, Российская Федерация)
Новиков А.Н. д.т.н., профессор
(г. Орел, Российская Федерация)
Шевцова А.Г. д.т.н., доцент.
(г. Белгород, Российская Федерация)

Никонов В.О. к.т.н., доцент
(г. Воронеж, Российская Федерация)
Лихачев Д.В. к.т.н., доцент
(г. Воронеж, Российская Федерация)

Адрес редакции:
394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева,
8, корпус, 4
E-mail: vestnikvglta@mail.ru
Телефон: (473) 253-73-11
Сайт: <http://vestnikvglta.ru/>

Зарегистрировано в Федеральной
службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий
и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор).
Свидетельство:
ЭЛ № ФС 77 - 66383 от 14.07.2016

© ФГБОУ ВО ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

- Попов А.И.** Анализ условий формирования плазмы в струе электролита при обработке поверхности анода в диапазоне 20-500 В 3
- Сухоруков В.Н., Смоленцев Е.В., Бабенков Н.Н., Юхневич С.С.** Технологические параметры комбинированного метода электрофизикохимической обработки материалов 17
- Бухтояров В.Н., Иванников В.А., Голев А.Д.** Оценка влияния режимов шлифования на шероховатость плазменных покрытий 26
- Попов Д.А., Кадырметов А.М., Усков А.И., Попов С.А., Мандрыкин И.А., Попов П.Н.** Влияние продолжительности механической активации металлических порошков при их смешивании на прочность плазменного покрытия 33

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

- Зеликов В.А., Струков Ю.В., Климова Г.Н., Денисов Г.А., Внукова С.В., Черников Э.А., Разгоняева В.В.** Анализ факторов, отражающих поведение водителей в сложной дорожной обстановке 41
- Колесников В.П., Кирюшин И.Н., Ретюнских В.Н., Кулик С.Н.** Электрофизикохимическая связь термодинамических процессов разложения компонентов отработавших газов автомобильных ДВС и электронное устройство для его осуществления 53
- Гудков В.В., Сокол П.А.** Обоснование конструкции и оборудования гусеничного тягача для регионов с экстремально низкими температурами 67
- Юнг А.А., Шевицова А.Г.** Разработка методики оценки эффективности использования средств индивидуальной мобильности в городских условиях 87
- Емельянов И.П., Кирильчук И.О., Барков А.Н.** Анализ функциональных индикаторов интеллектуальных транспортных систем как показателей повышения экологической безопасности автомобильного транспорта в Курской области 95
- Шаврина В.С., Барнови Н.В.** Повышение качества обслуживания автобусных перевозок на примере маршрута №158 г. Санкт-Петербурга 106
- Новиков И.А., Печатнова Е.В., Кирюшин И.И., Ильин Ю.И.** Стационарные комплексы фотовидеофиксации правонарушений ПДД как способ борьбы с аварийностью 118
- Котов Р.А., Дорохин С.В.** Разработка двухфакторной математической модели оценки количества дорожно-транспортных происшествий с участием пассажирского транспорта 126



2.5.5 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки;

2.5.6 – технология машиностроения

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАЗМЫ В СТРУЕ ЭЛЕКТРОЛИТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТИ АНОДА В ДИАПАЗОНЕ 20-500 В

ANALYSIS OF PLASMA FORMATION CONDITIONS IN AN ELECTROLYTE JET DURING ANODE SURFACE TREATMENT IN THE RANGE OF 20-500 V

Попов Александр Иннокентьевич, к.т.н., доцент, Высшая школа машиностроения, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, e-mail: popov_ai@spbstu.ru

Popov Alexander Innokentievich, candidate of technical sciences, associate professor, higher school of mechanical engineering, Peter the great St. Petersburg polytechnic university, St. Petersburg, e-mail: popov_ai@spbstu.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрено влияние напряжения электролитно-плазменного разряда в диапазоне напряжений от 20-500 В на формирование плазмы в свободнопадающей струе и струе под давлением, направленной на поверхность металлического анода. Показано, что при струйной обработке в диапазоне напряжений разряда 20-500 В на формирование области плазмы влияет много факторов. Показано, что при струйной обработке вольтамперная характеристика по форме существенно отличается от характеристики в электролитической ванне. Выявлено, что основными параметрами, влияющими на формирование плазмы в струе, является напряжение разряда и температура. В свою очередь, температура процесса во многом зависит от объемного расхода электролита, поступающего в межэлектродный промежуток. При достижении температуры электролита в межэлектродном промежутке 34-40 °С формируется процесс перехода от электрохимического воздействия на поверхность на комбинированный с сильным влиянием электролитной плазмы. Показано, что изменение процессов в электролитной струе под воздействием напряжения приводит к изменению морфологии поверхности и уменьшению параметра шероховатости Ra. Во всем диапазоне напряжения с его ростом показано

Annotation. This article discusses the effect of electrolyte-plasma discharge voltage in the voltage range from 20-500 V on the formation of plasma in a free-falling jet and a jet under pressure directed to the surface of a metal anode. It is shown that during jet processing in the discharge voltage range from 20-500 V, many factors affect the formation of the plasma region. It is shown that during jet processing, the volt-ampere characteristic differs significantly in shape from the characteristic in the electrolytic bath. It is revealed that the main parameters affecting the formation of plasma in the jet are the discharge voltage and temperature. In turn, the process temperature largely depends on the volumetric flow rate of the electrolyte entering the interelectrode gap. When the electrolyte temperature in the interelectrode gap reaches 34 - 40 ° C, the process of transition from the electrochemical effect on the surface to a combined one with a strong influence of electrolyte plasma is formed. It is shown that the change of processes in the electrolytic jet under the influence of voltage leads to a change in the surface morphology and a decrease in the roughness parameter Ra. An increase in the discharge power, loss of anode material, and an increase in temperature are shown in the entire range of voltages. The results of these studies can be applied to dimensional and finishing surface treatment of stainless steels and alloys.

увеличение мощности разряда, убыли материала анода, и рост температуры. Результаты данных исследований могут быть применимы для размерной и финишной обработки поверхности нержавеющей сталей и сплавов.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОЛИТ, ПЛАЗМА, СТРУЯ, АНОД, ТЕМПЕРАТУРА, ДИАГНОСТИКА, МОРФОЛОГИЯ, ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ШЕРОХОВАТОСТЬ.

Keywords: ELECTROLYTE, PLASMA, JET, ANODE, TEMPERATURE, DIAGNOSIS, MORPHOLOGY, HYDRODYNAMIC MODELING, ROUGHNESS.

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Наличие технологического суверенитета России во многом зависит от развития промышленности, использующей прорывные инновационные решения. Внедрение их позволяет уменьшить технологическую зависимость России от западных технологий [1-4]. Одной из таких инновационных технологий является перспективная технология струйной электролитно-плазменной обработки (ЭПО) [5-12]. Анализ данной технологии показывает, что при достаточно большом количестве работ в этой области имеются большие белые пятна для разных режимов обработки поверхности. Нет понимания в какой период и при каких условиях при больших объемных расходах электролита (ОРЭ) заканчивается процесс электролиза и начинает «работать» электролитно-плазменный механизм. Изучение работ, посвященных электролитно-плазменной обработке в электролитической ванне, показывает, что электролитно-плазменный режим начинается при напряжении разряда более 200 В [13]. В наших работах было показано возникновение электролитно-плазменного разряда (ЭПР) в ванне при напряжении 120 В [14]. Другие источники показывают, что начало этого процесса может быть при 80 В, при 30 В, а в отдельных случаях при 20 В [15, 16]. Однако, в какой момент возникает плазменный разряд в струе электролита определить визуально не всегда представляется возможным. Это прежде всего связано с большой скоростью потока и большими ОРЭ и, следовательно, достаточно низкой температурой электролита. Для разряда в форме капли или диффузного разряда в виде эллипсоида зафиксировать момент формирования разряда можно визуально [16]. В струе при низких ОРЭ наблюдается характерное кипение, образование пароплазменной и анодной оболочки, свечение в прианодной зоне. Однако при увеличении скорости потока электролита выделяемого тепла недостаточно для образования пароплазменной оболочки и энергии разряда недостаточно, чтобы ионизировать прианодную зону. Это затрудняет понимание того, в какой момент заканчиваются или начинаются ионизационные процессы в струе электролита при больших ОРЭ. Происходит ли ионизация составляющих электролита при высокой скорости потока? Насколько сильны ионизационные процессы в струе электролита? И главный вопрос – каким образом это можно выявить? Цель работы определить начало ионизационных процессов в струе электролита при ОРЭ (8-90 л/ч) в диапазоне рабочих напряжений 20-500 В и разной форме токоподводов. Задачи работы: снять вольтамперную характеристику, зафиксировать изменение температуры, зафиксировать изменение морфологии и шероховатости поверхности, оценить изменение убыли материала анода.

2 Материалы и методы

Для исследований использовалась установка струйной электролитно-плазменной обработки, разработанная в ВШМ, ИММ и Т, СПбПУ [181921].

В качестве обрабатываемого материала были выбраны образцы из меди М1, нержавеющей сталей AISI 301, AISI 304, 08X18H9T с размерами 45×45×1 мм с исходной шероховатостью поверхности Ra 0.2 мкм. В качестве электролита использовали NH₄NO₃ или Na₂SO₄ с

концентрацией 30 г/л. ОРЭ составил $Q = 2-88$ л/ч. Объемный расход рассчитывали за время наполнения 1 литра мерным химическим стаканом по ГОСТ 23932–90.

ОРЭ рассчитывали по формуле (1), л/ч:

$$Q = 3600 \cdot V_{1л} / \tau, \quad (1)$$

где $V_{1л}$ – объем, равный 1, л; τ – время наполнения электролитом объема в 1 л, с.

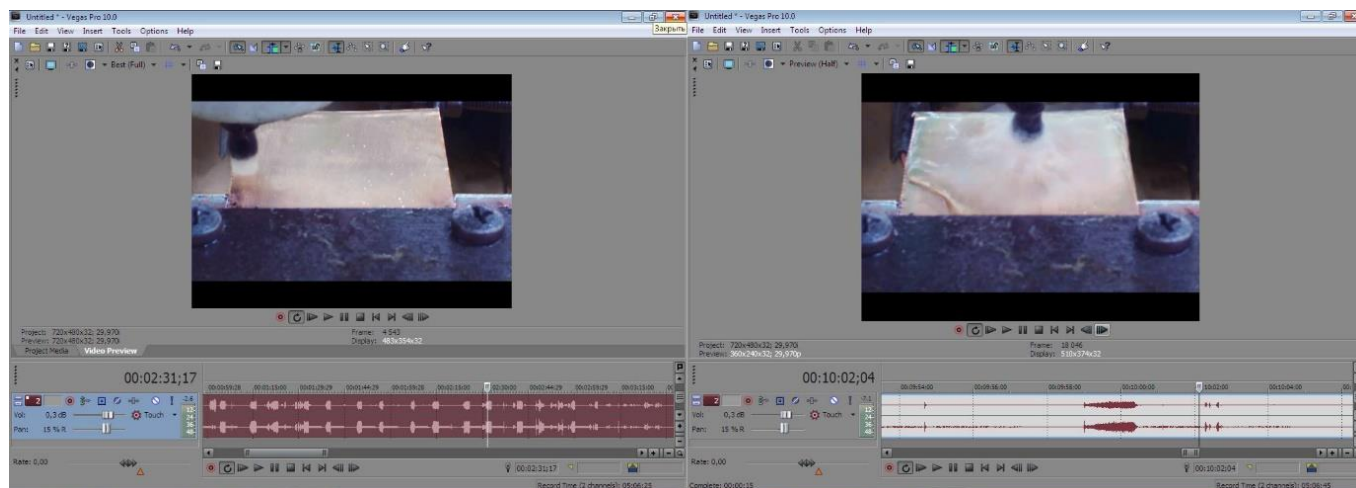
Межэлектродный зазор для разных условий составил 2-8 мм. Электрод-инструмент перемещали над поверхностью образца с подачей 180 мм/мин. Диапазон изменения напряжений составил 20-500 В. Ток разряда измеряли токовыми клещами UNI-T UT210B, напряжение разряда измеряли щитовым цифровым вольтметром OMIX V-3-1.0. В процессе исследований убыль веса образцов фиксировалась на лабораторных весах BM213M с ценой деления 0,001 мг. Измерения параметра шероховатости R_a проводились с использованием профилометра TR200 по семь раз для каждого образца.

Морфологию поверхности изучали на оптическом микроскопе МЕТАМ ЛВ-31. Гидродинамическое моделирование проводили в программе «Comsol Multiphysics».

3 Результаты исследований

3.1 Анализ формирования плазмы в струе электролита при малых ОРЭ 2-8 л/ч

Анализ формирования плазмы в струе электролита при малых ОРЭ 2-8 л/ч показывает, что ЭПР формируется при малых напряжениях от 220 В и характеризуется визуально видимым свечением как при дневном свете, так и в условиях затемнения. Замечено, что разряд при малых ОРЭ (2-8 л/ч) не является непрерывным процессом. Ионизация разряда происходит периодически (рис.1.а), на что показывает цвет разряда, амплитуда и частота звука, характеризующая возникновение единичных разрядов на поверхности анода [22, 23].



а)

б)

а – циклическая работа разряда эллипсоидной формы;

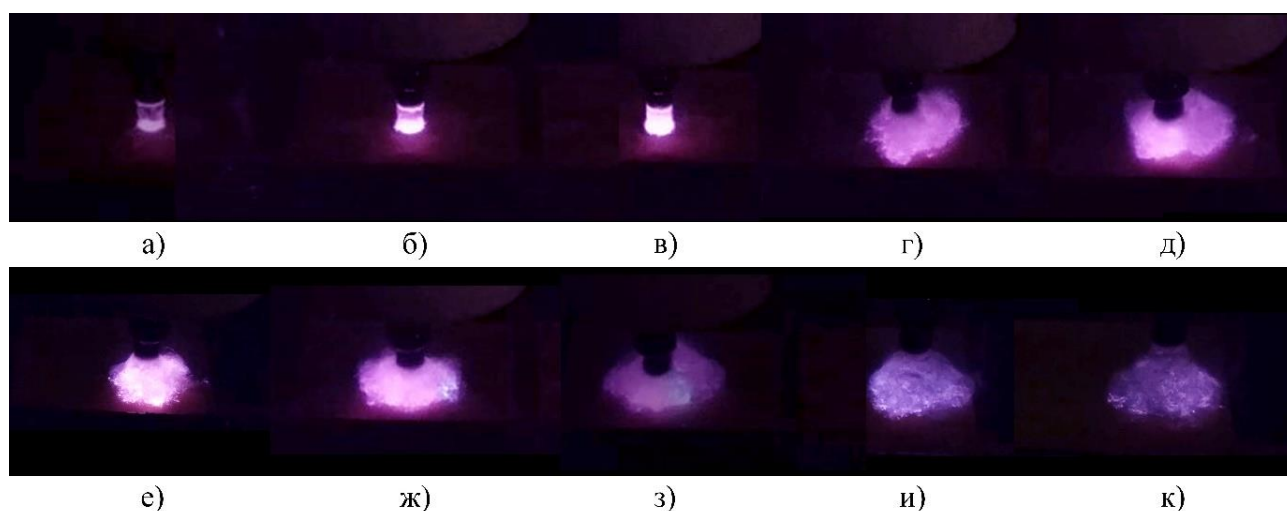
б – деструкция разряда с потерей формы и изменением звукового поля

Рисунок 1 – Анализ амплитуды и частоты звука при формировании ЭПР при малых ОРЭ ($Q = 2-8$ л/ч)

3.2 Анализ развития ЭПР в струе электролита при малых ОРЭ 2-8 л/ч

Оценку развития ЭПР в струе электролита производили для разных материалов, разных диапазонов напряжений и разных электролитов, и различных ОРЭ и разной формы токоподвода.

Несмотря на различные области исследований нами были зафиксированы общие закономерности при проведении данных опытов. Ионизация капли, падающей с полого катода, начинается еще до момента ее касания поверхности анода. Затем возникают ионизация в месте касания капли или струи поверхности анода, дополнительно к этому происходит ионизация струи в прикатодной области. С ростом напряжения и длительности процесса идет преимущественно увеличение области ионизации в прианодной зоне разряда [21]. После чего разряд увеличивается в объеме. В разный период времени он может принимать форму конуса, сферы или эллипсоида. В момент возникновения искрового разряда на поверхности анода или катода происходит, вырыв материала анода и катода, и ионизация меди, окрашивающая области разряда в зеленый цвет. При падении потенциала разряд изменяет свой цвет на более блеклый (рис.2, и, к). В итоге происходит разрядка конденсаторов и полная деструкция разряда (рис. 1, б).

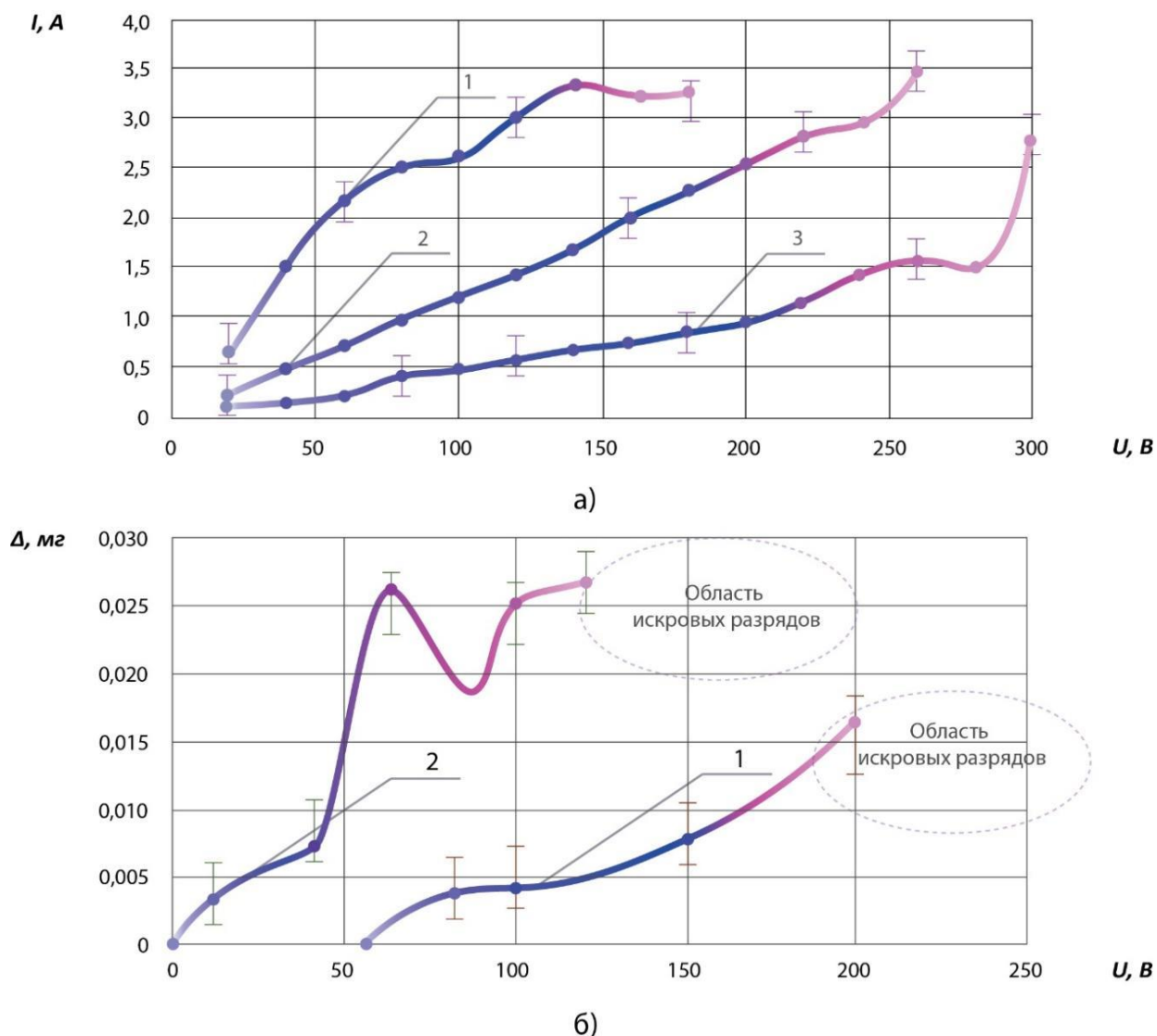


a – момент касания струи поверхности анода; *б* – увеличение катодной и анодной зоны развития разряда; *в* – формирование столба электролитной плазмы; *г* – формирование пузырьковой фазы вследствие избытка тепла; *д* – вращение разряда сферической формы; *е* – формирование разряда конической формы; *ж* – возникновение периферийного искрового разряда с ионизацией атомов меди анода; *з* – возникновение искрового разряда с ионизацией атомов меди катода и анода; *и* – уменьшение энергии разряда (переход от малинового цвета к сиреневому); *к* – уменьшение энергии разряда (переход от малинового цвета к темно-сиреневому)

Рисунок 2 – Результаты раскадровки видео струйного ЭПР при малых ОРЭ ($Q = 2-10$ л/ч)

3.3 Анализ формирования плазмы с использованием полого катода с острым срезом при больших ОРЭ 33-88 л/ч

Анализ формирования ВАХ при остром срезе полого катода показывает, что реализуемый технологический диапазон при этом составляет 20-300 В при достижении рабочих токов до 3,5 А (рис. 3). Однако по виду кривых ВАХ невозможно определить, где заканчивается электрохимический процесс и начинается электролитно-плазменный процесс. Уверенно можно только сказать, где возникает искровой пробой с острого среза полого токоподвода и переход после этого в дуговой разряд. Для малых межэлектродных зазоров (1 мм) не удастся поднять напряжение разряда выше 175-180 В, для 3 мм выше 260 В, для 5 мм выше 300 В (рис. 3).

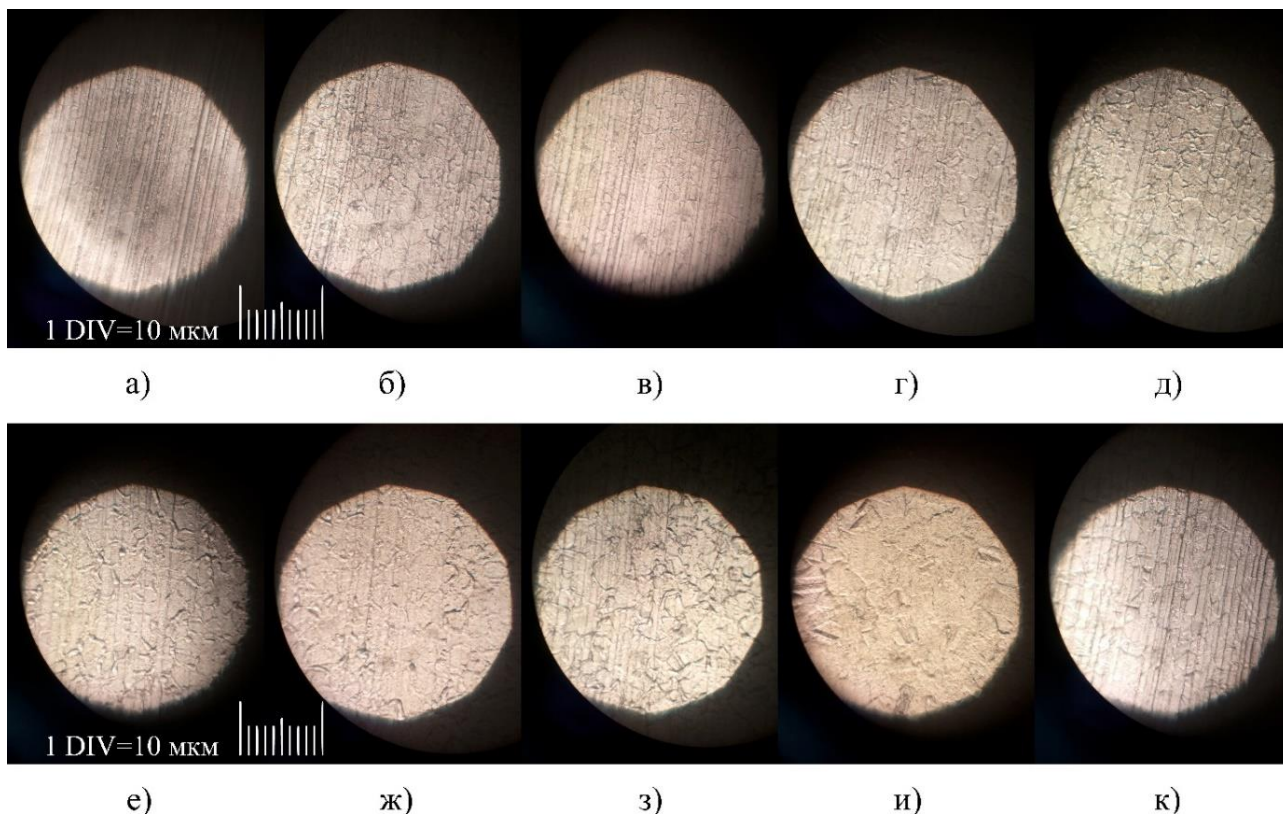


а) вольтамперная характеристика процесса (материал сталь AISI 304, электролит NH_4NO_3 , $\kappa = 30$ г/л): 1 – межэлектродный промежуток 1 мм, 2 – межэлектродный промежуток 3 мм, 3 – межэлектродный промежуток 5 мм [24]; б) величина убыли массы образца при изменении напряжения между токоподводами (сталь 08X18H9T): 1 – $h = 4,5$ мм, $Q = 88$ л/ч; 2 – $h = 1$ мм, $Q = 33$ л/ч [24]

Рисунок 3 – Характеристики струйных разрядов

3.4 Оценка морфологии поверхности при больших ОРЭ 88 л/ч

Оценка морфологии поверхности при ОРЭ равных 88 л/ч показывает, что струя электролита вносит существенное изменение в морфологию поверхности. Характерное изменение морфологии начинается с диапазона напряжений в 40-60 вольт. Оно проявляется в разрушении гребешков шероховатости поверхности и ростом высоты межзеренных границ над поверхностью. Для напряжения 80 В наблюдается рост площади зерен и удаление гребешков шероховатости. Диапазон напряжений 100-160 В характеризуется ростом высоты межзеренных границ над поверхностью. Наибольшее отличие можно фиксировать для режима 180 вольт. Его можно характеризовать почти полным удалением гребешков шероховатости поверхности и ростом площади зерен металла. Можно уверенно говорить об изменении физико-химического взаимодействия струи с поверхностью. Режим 200 вольт характеризуется отсутствием валиков межзеренных границ над поверхностью, выявлением пластин зерен, частичным выявлением границ зерен и более четкой проработкой гребешков шероховатости поверхности. Это может говорить о преобладании электролитно-плазменного механизма над электрохимическим.



$h = 4,5 \text{ мм}, Q = 88 \text{ л/ч};$
 а) $U = 20 \text{ В};$ б) $U = 40 \text{ В};$ в) $U = 60 \text{ В};$ г) $U = 80 \text{ В};$ д) $U = 100 \text{ В};$ е) $U = 120 \text{ В};$
 ж) $U = 140 \text{ В};$ з) $U = 160 \text{ В};$ и) $U = 180 \text{ В};$ к) $U = 200 \text{ В}$ [24]

Рисунок 4 – Изменение морфологии поверхности нержавеющей стали AISI 304 под влиянием электролитической струи при разных напряжениях

3.5 Формирование плазмы в струе электролита с использованием полого катода с радиусным скруглением при средних ОРЭ 8-33 л/ч

Анализ ВАХ для струи электролита показывает, что в отличие от падающей характеристики ВАХ в электролитической ванне [13] струйная обработка имеет повышающий характер [22]. Это говорит о том, что мощность ЭПР все время растет при повышении напряжения. Скругление радиуса среза полого катода способствует уменьшению напряженности электрического поля между острым срезом трубки полого катода и вершинами шероховатости поверхности анода. Очевидно, что это еще больше позволяет повысить напряжение ЭПР (рис. 5, а).

В процессе диагностики ЭПР для диапазона напряжений 200-300 В фиксируется локальное уменьшение тока разряда. Это может говорить о начале процесса поляризации анода в этом диапазоне напряжений. В диапазоне 20-500 В убыль массы материала анода постоянно растет (за исключением диапазона напряжения поляризации анода 200-400 В), так как увеличивается число частиц, переносящих заряд, что подтверждается графиком убыли массы от параметра тока, имеющей почти такую же зависимость.

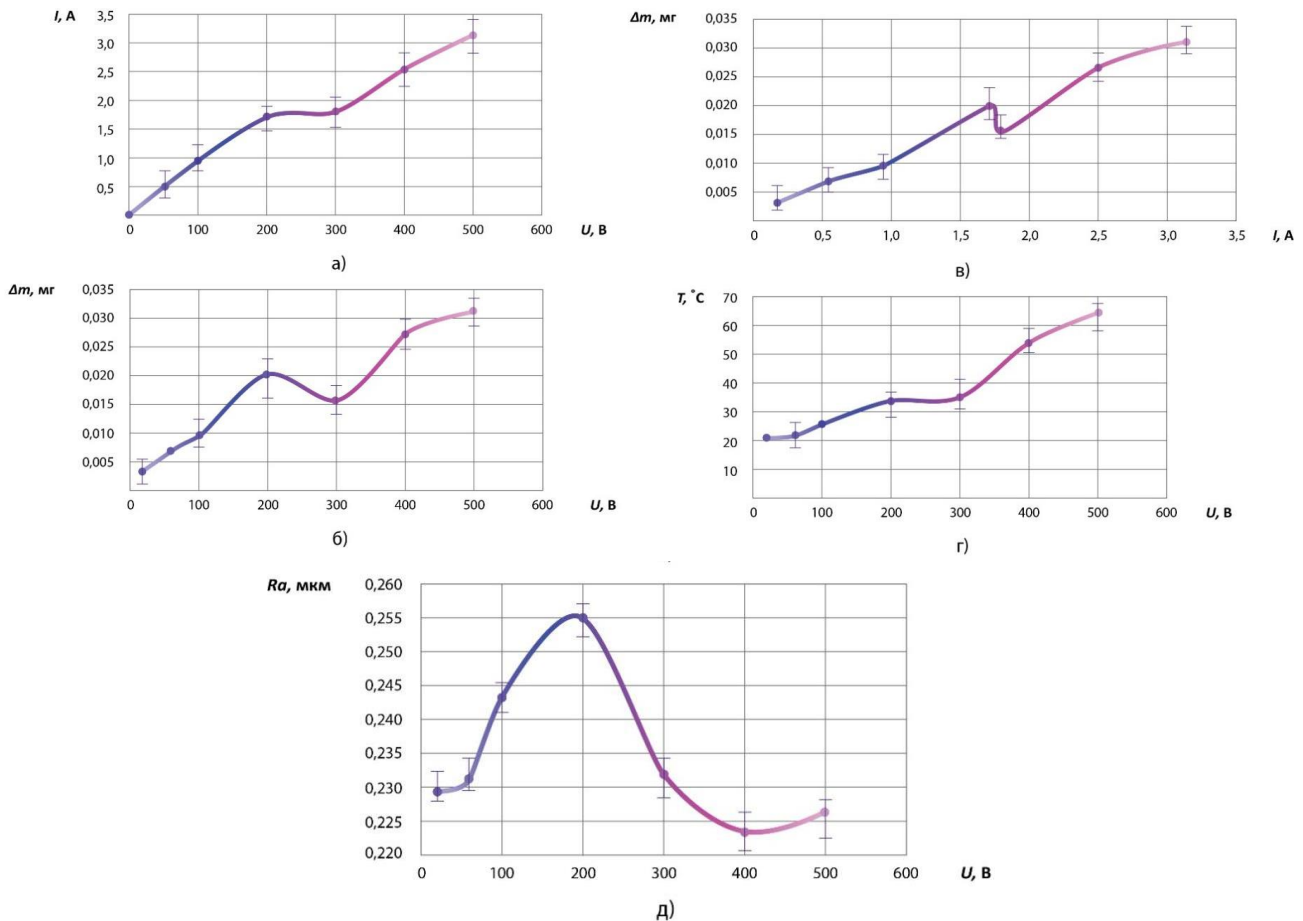
Одним из показательных графиков состояния электролитической струи является зависимость температуры от напряжения между токоподводами. В диапазоне напряжений 200-400 В наблюдается уменьшение температуры, что можно объяснить уменьшением тока разряда, что соответствует выделяемой энергии по закону Джоуля-Ленца, Дж:

$$dQ = I^2 \cdot R \cdot dt, \quad (2)$$

тогда

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} I^2 R dt, \quad (3)$$

где dQ – количество теплоты, выделяемое за время горения разряда, Дж; R – сопротивление цепи, Ом; I – сила тока электрического разряда, А; dt – время горения разряда, с.



a – вольтамперная характеристика струйного ЭПР; *б* – убыль массы материала анода от величины напряжения разряда; *в* – убыль массы материала анода от величины тока разряда; *г* – рост температуры электролита от напряжения разряда; *д* – изменение параметра шероховатости Ra от напряжения разряда

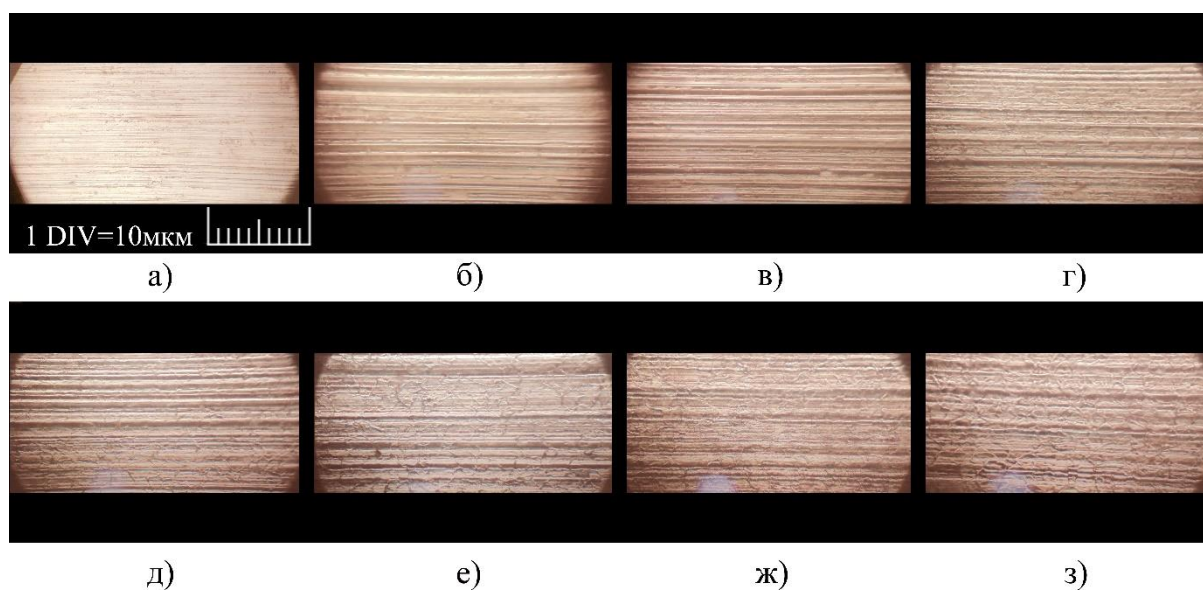
Рисунок 5 – Результаты исследований

Наиболее важным для доказательств плазменных процессов в струе электролита является график зависимости параметра шероховатости Ra от напряжения. В нашем случае он имеет такой же вид как выглядит вольтамперная характеристика при обработке в ванне [13]. С повышением напряжения до 200 В наблюдается рост параметра шероховатости Ra . Это может говорить о том, что в этом случае идет процесс электрохимического растворения поверхности анода. После чего наблюдается перелом кривой и резкое уменьшение параметра шероховатости Ra . Это может говорить об изменении механизма контактного взаимодействия струи электролита с поверхностью анода и переходу на электролитно-плазменный режим. Это подтверждается оценкой морфологии поверхности. При напряжении ЭПР в 200 В наблюдается изменение рисунка элементов поверхности, характеризующемся более четкой проработкой поверхности с появлением на ней мельчайших деталей. По нашему мнению, в этом случае

мы можем наблюдать конкурирующий механизм воздействия струи на поверхность, заключающийся в сильном электрохимическом воздействии, отвечающем за высокую скорость убыли массы материала анода и электролитно-плазменный механизм воздействия на поверхность, обеспечивающий эффект полирования поверхности за счет воздействия единичных разрядов очень малой мощности [25, 27]. В случае воздействия только электрохимического механизма обработки поверхности мы, по нашему мнению, должны были бы наблюдать увеличение уровня параметра шероховатости Ra до определенного уровня с выходом на какую-либо стабильную величину, а возможно даже ухудшение Ra поверхности при увеличении глубины межзерновых границ. Однако в нашем случае мы имеем дело с комбинированным механизмом воздействия на поверхность с достаточно большой скоростью съема и со снижением шероховатости поверхности с проработкой структуры. Большая скорость съема указывает на наличие электрохимического механизма, а «мягкое» воздействие ЭПР на поверхность с проработкой мельчайших деталей морфологии, по нашему мнению, отвечает за электролитно-плазменный механизм [19].

3.6 Оценка морфологии поверхности при средних ОРЭ 33 л/ч

Изменение морфологии поверхности при ОРЭ 33л/ч наблюдается уже при напряжении 100 В (рис. 6). Происходит дробление гребешков шероховатости и появление мелко проработанной структуры материала анода. С увеличением напряжения все более четко проявляется проработка текстуры и мелких деталей поверхности. Это может говорить об увеличивающемся влиянии электролитно-плазменного механизма в струе электролита.



a) исходная поверхность анода; *б)* $U = 20$ В; *в)* $U = 60$ В; *г)* $U = 100$ В;
д) $U = 200$ В; *е)* $U = 300$ В; *ж)* $U = 400$ В; *з)* $U = 500$ В

Рисунок 6 – Изменение морфологии поверхности при воздействии ЭПР при разном напряжении

3.7 Результаты моделирования

Результаты моделирования скоростей и давлений электролита при больших ОРЭ в процессе формирования ЭПР показаны на рис. 7. Для нахождения скорости и давления использовалась программа COMSOL Multiphysics. Уравнение Навье-Стокса, которое в векторном виде для жидкости записывается в виде:

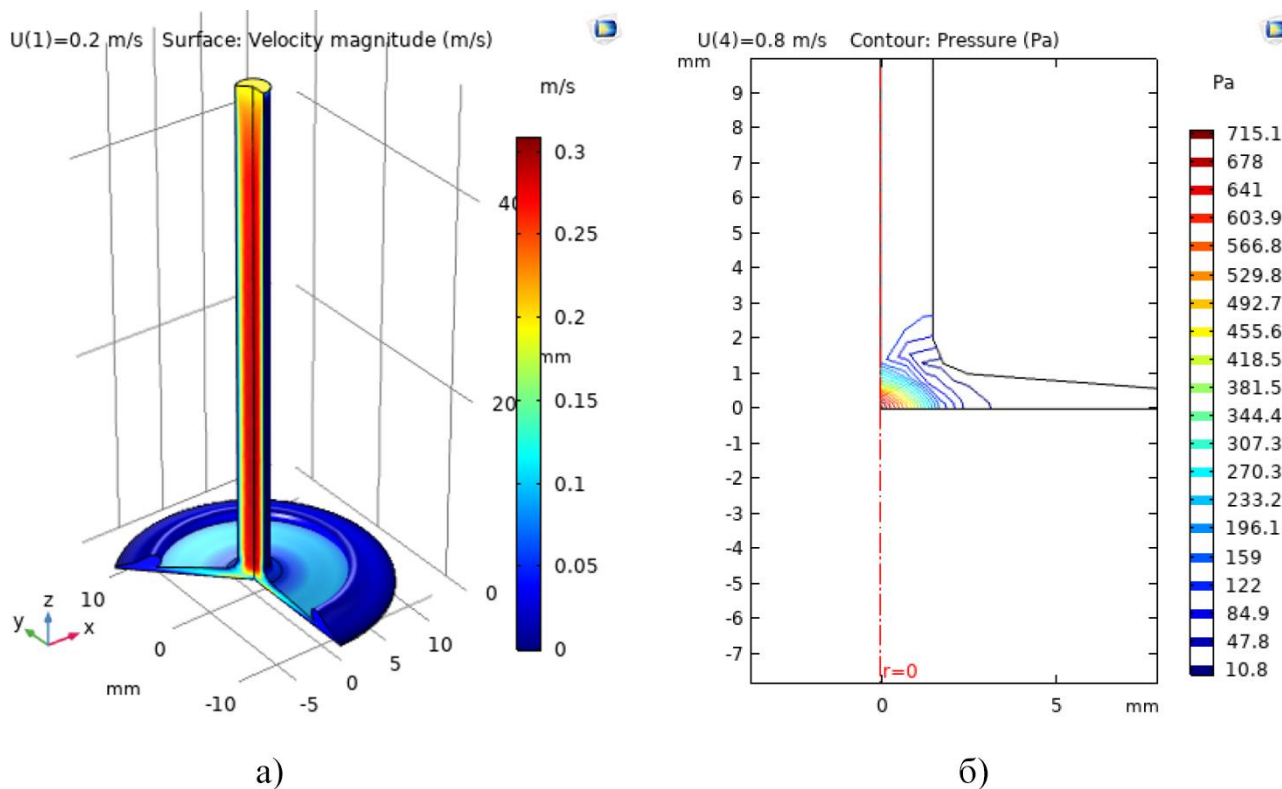
$$\frac{d\vec{v}}{dt} = -(\vec{v} \times \nabla)\vec{v} + \nu \Delta \vec{v} - \frac{1}{\rho} \times \nabla p + \vec{f}, \quad (4)$$

где, ∇ – оператор набла; Δ – векторный оператор Лапласа; t – время; ν – коэффициент кинематической вязкости электролита; ρ – плотность; p – давление; \vec{v} – векторное поле скорости; \vec{f} – векторное поле массовых сил.

Для несжимаемой жидкости, которой является электролит, должно выполняться условие несжимаемости:

$$\nabla \times \vec{v} = 0. \quad (5)$$

Анализ распределения скоростей потока показывает, что максимальные скорости потока локализованы в трубке электролита и по поверхности анода в окрестности полого катода. При этом максимальное давление локализовано по оси потока и также сформировано в окрестности трубки. Это предполагает, что выделяющаяся при ЭПР энергия при данных условиях не позволяет довести ЭПР до кипения, вследствие охлаждения за счет большой скорости потока и давления, оказываемого на парогазовый слой. В этом случае это может быть положительным фактором, так как давление локализует в очень тонком слое сам разряд.



a – скорость потока электролита; *б* – давления электролита на зону разряда

Рисунок 7 – Гидродинамическая модель распределения скоростей и давления электролита [21, 27]

4 Обсуждение и заключение

Проведенные результаты исследований показывают, что возникновение ионизации в струе электролита нами наблюдалось в двух случаях: при низком ОРЭ (2-8 л/ч), а также при среднем и большом ОРЭ (33-88 л/ч). Причем, при ОРЭ (2-8 л/ч) происходит визуально различимая ионизация струи электролита, видимая как при дневном свете, так и при отсутствии

освещения. Другим случаем формирования ЭПР в струе электролита является наличие относительно больших ОРЭ. Этот процесс характеризуется высокой скоростью потока электролита, низкой температурой и высоким давлением в зоне контакта струи с поверхностью. В этом случае плазменный разряд не является видимым даже при снижении освещенности в помещении для проведения работ. В этом случае возникают вопросы. Во-первых, если нет видимого процесса ионизации, то существует ли ЭПР в струе электролита при увеличении ОРЭ и увеличении давления в зоне ЭПР? Или же мы имеем дело исключительно с электрохимическим процессом электролиза, в котором можно поднять напряжение до 500 В, хотя классическое представление о процессе электролиза соответствует диапазону 5-60 В. Во-вторых, можно ли получить не только увеличение мощности разряда в струе, но обеспечить одновременное увеличение скорости съема и снижение шероховатости поверхности. В-третьих, какие процессы возникают в струе электролита при контакте с поверхностью. В-четвертых, как и каким образом зафиксировать наличие ЭПР в струе электролита, если визуально отсутствует ионизация ЭПР. Ответы на указанный ряд возникающих вопросов были даны нами при проведении и анализе результатов исследований. Увеличение напряжения при струйном разряде ведет к увеличению общей мощности. Если для ЭПО наблюдается падение мощности при повышении напряжения, то в случае со струйным ЭПР фиксируется пропорциональное увеличение мощности. Величина тока разряда характеризует выделяемое тепло в зоне разряда. Соответственно увеличение тока и напряжения ведёт к росту температуры в межэлектродном промежутке и нагреву электролита, пластины анода и трубки полого катода. Рост температуры разряда пропорционален выделяемой мощности. При достижении температуры в диапазоне 34-40 °С происходит изменение энергетического состояния частиц электролита и переход их в возбужденное состояние. Изменение температуры электролита изменяет механизмы контактного взаимодействия с поверхностью, что отражается на параметре шероховатости Ra и морфологии. Очевидно, что повышение температуры струи приводит к активной ионизации составляющих электролита. После чего происходит ионизация и переход в возбужденное состояние атомов электролита и изменение характера воздействия на поверхность. Зафиксировано изменение морфологии поверхности и изменение механизма электрохимического воздействия на комбинированный электрохимический - электрофизический механизм. Комбинированный характер ЭПР можно объяснить тем, что при существенном изменении шероховатости поверхности фиксируется значительный удельный съём материала анода, возрастающий при увеличении мощности разряда. Электролитно-плазменный механизм выражается в уменьшении шероховатости поверхности при повышении напряжения и изменении морфологии поверхности от грубого блокового (зеренного) разрушения поверхности к четкой мелко-элементной проработке структуры при контактном взаимодействии комбинированного ЭПР.

Результатом обсуждений являются следующие заключения:

1 При малом межэлектродном промежутке менее 6 мм и при ОРЭ менее 8 л/ч в межэлектродном зазоре происходит ионизация как в части струи электролита в виде падающей капли, в катодном и анодном пространстве, так и в большей части электролита в струе при диффузном разряде;

2 Ионизация в виде локальных областей при полом катоде фиксируется в виде мелких рисок на закругленных краях трубки, при наборном катоде – между проводниками при их близком расположении друг другу;

3 При увеличении ОРЭ более 8 л/ч ионизация струи визуально не фиксируется;

4 При увеличении ОРЭ 8-88 л/ч и повышении температуры свыше 34 °С и близком межэлектродном промежутке (менее 4 мм) возникает ионизация струи в локальной области на острых краях трубки полого катода с развитием искрового разряда и переходом его в дуговой разряд;

5 Повышение температуры электролита в области разряда приводит к изменению ионизации столба струи и изменению характера воздействия струи на морфологию поверхности анода.

Благодарность

Автор выражает благодарность графическому дизайнеру Диане Александровне Поповой за подготовку иллюстраций

Список литературы

- 1 Петров, В. В. Технологический суверенитет России: концептуальные подходы и практическая реализация // Проблемы развития экономики. - 2020. - Т. 26, № 2. - С. 47-56.
- 2 Степанова, Т. Д. Технологический суверенитет России как элемент экономической безопасности / Т. Д. Степанова // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2022. – Т. 12, № 9-1. – С. 567-577. – DOI 10.34670/AR.2022.19.76.044. – EDN JNNZEN.
- 3 Принципы построения автоматизированных систем поддержки жизненного цикла инновационных продуктов / А. И. Надеев, А. И. Попова, А. В. Сурина, Ю. К. Свечников // Датчики и системы. – 2006. – № 11. – С. 59-63. – EDN KWMQTP.
- 4 Роль университета в интеграции образования, науки и бизнеса / С. И. Головкина, А. И. Попова, С. А. Черногорский, Н. В. Валебникова // Университет как фактор модернизации России: история и перспективы (к 55-летию ЧГУ им. И.Н. Ульянова) : Материалы Международной научно-практической конференции, Чебоксары, 18 октября 2022 года. – Чебоксары: Общество с ограниченной ответственностью «Издательский дом «Среда», 2022. – С. 138-140. – EDN NERYTD.
- 5 Патент № 2640213 С1 Российская Федерация, МПК С25F 3/16, С25F 7/00. Способ струйного электролитно-плазменного полирования металлических изделий сложного профиля и устройство для его реализации: № 2016152796: заявл. 30.12.2016: опубл. 27.12.2017 / Д. А. Зарубин; заявитель Федеральное государственное автономное научное учреждение "Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики" (ЦНИИ РТК). – EDN LNRJCM.
- 6 Ablyaz, Timur & Muratov, K. & Ushomirskaya, L. & Zarubin, D. & Sidhu, Sarabjeet. (2019). Electrolytic plasma polishing technique for improved surface finish of ED machined components. Engineering Solid Mechanics. 7. 131-136. 10.5267/j.esm.2019.3.003.
- 7 Electrolytic plasma polishing technique for improved surface finish of ed machined components / T. R. Ablyaz, K. R. Muratov, L. A. Ushomirskaya et al.] // Engineering Solid Mechanics. – 2019. – Vol. 7, No. 2. – P. 131-136. – DOI 10.5267/j.esm.2019.3.003. – EDN OYFPAV.
- 8 Electrolytic Plasma Surface Polishing of Complex Components Produced by Selective Laser Melting / T. R. Ablyaz, K. R. Muratov, M. M. Radkevich et al.] // Russian Engineering Research. – 2018. – Vol. 38, No. 6. – P. 491-492. – DOI 10.3103/S1068798X18060035. – EDN YCBXKH.
- 9 Gaisin, A.F., Gaisin, F.M., Zheltukhin, V.S. et al. High-Frequency Discharge with a Jet Electrolytic Electrode. Plasma Phys. Rep. 48, 48–54 (2022). <https://doi.org/10.1134/S1063780X22010068>
- 10 Петрович, В. С. Струйная электролитно-плазменная обработка сплайновых поверхностей / В. С. Петрович, Д. А. Левин, М. В. Новоселов // Наука и инновации в технических университетах : материалы Тринадцатого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 23–25 октября 2019 года. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2019. – С. 55-57. – EDN PCKKGY.
- 11 Kirko, D.L. Study of Near-Electrode Plasma and Electrode Surface During Discharges in Electrolytes. Plasma Phys. Rep. 46, 597–603 (2020). <https://doi.org/10.1134/S1063780X20060045>
- 12 Колесин, К. Г. Влияние струйного электролитно-плазменного полирования на точность выполнения размеров / К. Г. Колесин, Е. С. Берестенников, М. В. Новоселов // Неделя науки СПбПУ: Материалы научной конференции с международным участием. В 2-х частях, Санкт-Петербург, 18–23 ноября 2019 года. Том Часть 2. – Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2020. – С. 211-214. – EDN BKUSQX.
- 13 Куликов, И. С. Электролитно-плазменная обработка материалов. Монография / И. С. Куликов, С. В. Ващенко, А. Я. Каменев. – Минск: Белорусская наука, 2010. – 232 с. – ISBN 978-985-08-1215-5. – EDN RBAYXT.
- 14 Влияние температуры струйного электролитно-плазменного разряда на шероховатость поверхности / К. Л. М. Диату, С. А. Кислицин, А. С. Фумин [и др.] // Электрофизические методы обработки в современной промышленности: VI Международная научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов, Пермь, 15–16 декабря 2022 года. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2023. – С. 90-94. – EDN XXLALK.

15 Д.И. Словецкий, С.Д. Терентьев Электрический разряд в электролитах источник неравновесной плазмы при атмосферном давлении. / Д.И. Словецкий, С.Д. Терентьев // Институт нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева РАН, Москва main.isuct.ru/files/konf/ISTAPC2005/proc/5-23.pdf

16 Влияние компонентов раствора электролита на нижнюю границу начала процесса электролитно-плазменного полирования / М. Т. Коротких, С. В. Захаров, А. А. Волков, И. А. Марцинкевич // Электрофизические методы обработки в современной промышленности : Материалы II Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Пермь, 18–20 декабря 2018 года. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2019. – С. 122-128. – EDN ZAYBNZ.

17 Анализ тепловых явлений при струйной фокусированной электролитно-плазменной обработке / А. И. Попов, М. И. Тюттяев, М. М. Радкевич, В. И. Новиков // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2016. – № 4(254). – С. 141-150. – EDN XWLPOJ.

18 Электрофизические закономерности струйной электролитно-плазменной обработки / А. И. Попов, А. А. Москалец, С. В. Беляков [и др.] // Воронежский научно-технический Вестник. – 2023. – Т. 1, № 1(43). – С. 4-19. – DOI 10.34220/2311-8873-2023-4-19. – EDN GHWUVC.

19 Попов, А. И. Анализ морфологии при воздействии электролитической струи на поверхность нержавеющей стали / А. И. Попов // Воронежский научно-технический Вестник. – 2023. – Т. 4, № 4(46). – С. 35-48. – DOI 10.34220/2311-8873-2023-35-48. – EDN ICUPCZ.

20 Попов, А. И. Атомно-дислокационная модель удаления поверхностных слоев струйным электролитно-плазменным полированием / А. И. Попов // Воронежский научно-технический Вестник. – 2024. – Т. 1, № 1(47). – С. 31-51. – DOI 10.34220/2311-8873-2024-31-51. – EDN DWAPMM.

21 Попов, А. И. Гидродинамические особенности струйного электролитно-плазменного разряда / А. И. Попов // Технология машиностроения. – 2023. – № 6. – С. 5-17. – EDN FWIRAM.

22 Bagautdinova, L.N., Gaisin, F.M. A multichannel discharge in conducting liquid at atmospheric pressure. High Temp 48, 126–128 (2010). <https://doi.org/10.1134/S0018151X10010153>

23 High-frequency characteristics of a jet electrolyte-plasma discharge Alexander I. Popov; Anatoly P. Veselovsky; Sergey V. Ermak; Sergey V. Zakharov; Marina V. Yakovitskaya; Vasily G. Teplyukhin; Mikhail M. Radkevich Author & Article Information AIP Conf. Proc. 2969, 020023 (2024) <https://doi.org/10.1063/5.0182527>

24 Влияние напряжения струйного электролитно-плазменного разряда на морфологию образцов из нержавеющей стали / А. А. Лисин, К. Л. М. Диату, А. А. Москалец, А. И. Попов // Перспективные машиностроительные технологии : сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого и 5-летию Высшей школы машиностроения, Санкт-Петербург, 13–20 мая 2024 года. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – С. 351-355. – EDN DXFIKG.

25 Новоселов, М. В. Повышение качества поверхностей сложного профиля методом струйной электролитно-плазменной обработки / М. В. Новоселов // Модели и методы развития технологий машиностроения в условиях цифровизации экономики России: Сборник статей / Под редакцией А.А. Поповича, Д.П. Гасюка. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – С. 93-97. – EDN KSKVCM.

26 High-Speed Dimensional Processing of Metallic Materials with an Environmentally Friendly Jet Electrolyte-Plasma Method / A. Popov, A. Popova, A. Fumin [et al.] // Mechanisms and Machine Science (book series). – 2022. – Vol. 108 MMS. – P. 481-489. – DOI 10.1007/978-3-030-87383-7_52. – EDN SEEEP N.

27 Гидродинамическое моделирование струйного электролитно-плазменного разряда / А. И. Попов, С. А. Кислицын, А. А. Москалец [и др.] // Модели и методы развития технологий машиностроения в условиях цифровизации экономики России: Сборник статей / Под редакцией А.А. Поповича, Д.П. Гасюка. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – С. 72-76. – EDN UCPQGY.

References

1 Petrov V.V. Technological sovereignty of Russia: conceptual approaches and practical implementation // Problems of economic development. - 2020. - Vol. 26, No. 2. - P. 47-56.

2 Stepanova, T.D. Technological sovereignty of Russia as an element of economic security / T.D. Stepanova // Economy: yesterday, today, tomorrow. - 2022. - Vol. 12, No. 9-1. - P. 567-577. - DOI 10.34670/AR.2022.19.76.044. - EDN JNNZEN.

3 Principles of constructing automated systems for supporting the life cycle of innovative products / A.I. Nadeev, A.I. Popova, A.V. Surina, Yu.K. Svechnikov // *Sensors and systems*. – 2006. – No. 11. – P. 59-63. – EDN KWMQTP.

4 The role of the university in the integration of education, science and business / S. I. Golovkina, A. I. Popova, S. A. Chernogorsky, N. V. Valebnikova // *University as a factor in Russia's modernization: history and prospects (on the 55th anniversary of I.N. Ulyanov Cheboksary State University): Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Cheboksary, October 18, 2022*. – Cheboksary: Limited Liability Company "Publishing House" Sreda ", 2022. – P. 138-140. – EDN NERYTD.

5 Patent No. 2640213 C1 Russian Federation, IPC C25F 3/16, C25F 7/00. Method of jet electrolytic-plasma polishing of metal products with complex profile and device for its implementation: No. 2016152796: declared. 30.12.2016: published. 27.12.2017 / D. A. Zarubin; applicant Federal State Autonomous Scientific Institution "Central Research and Experimental Design Institute of Robotics and Engineering Cybernetics" (TsNII RTK). – EDN LNRJCM.

6 Ablyaz, Timur & Muratov, K. & Ushomirskaya, L. & Zarubin, D. & Sidhu, Sarabjeet. (2019). Electrolytic plasma polishing technique for improved surface finish of ED machined components. *Engineering Solid Mechanics*. 7. 131-136. 10.5267/j.esm.2019.3.003.

7 Electrolytic plasma polishing technique for improved surface finish of ed machined components / T. R. Ablyaz, K. R. Muratov, L. A. Ushomirskaya [et al.] // *Engineering Solid Mechanics*. – 2019. – Vol. 7, No. 2. – P. 131-136. – DOI 10.5267/j.esm.2019.3.003. – EDN OYFPAV.

8 Electrolytic Plasma Surface Polishing of Complex Components Produced by Selective Laser Melting / T. R. Ablyaz, K. R. Muratov, M. M. Radkevich [et al.] // *Russian Engineering Research*. – 2018. – Vol. 38, No. 6. – P. 491-492. – DOI 10.3103/S1068798X18060035. – EDN YCBXKH.

9 Gaisin, A.F., Gaisin, F.M., Zheltukhin, V.S. et al. High-Frequency Discharge with a Jet Electrolytic Electrode. *Plasma Phys. Rep.* 48, 48–54 (2022). <https://doi.org/10.1134/S1063780X22010068>

10 Petrovich, V.S. Jet electrolyte-plasma treatment of spline surfaces / V.S. Petrovich, D.A. Levin, M.V. Novoselov // *Science and innovation in technical universities: materials of the Thirteenth All-Russian forum of students, graduate students and young scientists, St. Petersburg, October 23–25, 2019*. – Saint Petersburg: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University", 2019. – P. 55-57. – EDN PCKKGY.

11 Kirko, D.L. Study of Near-Electrode Plasma and Electrode Surface During Discharges in Electrolytes. *Plasma Phys. Rep.* 46, 597–603 (2020). <https://doi.org/10.1134/S1063780X20060045>

12 Kolesin, K. G. Effect of jet electrolytic-plasma polishing on the accuracy of dimensional performance / K. G. Kolesin, E. S. Berestennikov, M. V. Novoselov // *SPbPU Science Week: Proceedings of a scientific conference with international participation. In 2 parts, St. Petersburg, November 18–23, 2019. Volume Part 2*. – St. Petersburg: Politech-Press, 2020. – Pp. 211–214. – EDN BKUSQX.

13 Kulikov, I. S. Electrolytic-plasma processing of materials. Monograph / I. S. Kulikov, S. V. Vashchenko, A. Ya. Kamenev. – Minsk: Belarusian Science, 2010. – 232 p. – ISBN 978-985-08-1215-5. – EDN RBAYXT.

14 Effect of temperature of jet electrolyte-plasma discharge on surface roughness / K. L. M. Diatu, S. A. Kislitsin, A. S. Fumin [et al.] // *Electrophysical methods of processing in modern industry: VI International scientific and practical conference of young scientists, graduate students and students, Perm, December 15-16, 2022*. - Perm: Perm National Research Polytechnic University, 2023. - P. 90-94. - EDN XXLALK.

15 D. I. Slovetsky, S. D. Terentyev Electric discharge in electrolytes - a source of nonequilibrium plasma at atmospheric pressure. / D. I. Slovetsky, S. D. Terentyev // *Institute of Petrochemical Synthesis named after A.V. Topchiev RAS, Moscow main.isuct.ru/files/konf/ISTAPC2005/proc/5-23.pdf*.

16 Influence of electrolyte solution components on the lower boundary of the onset of the electrolytic-plasma polishing process / M. T. Korotkikh, S. V. Zakharov, A. A. Volkov, I. A. Martsinkevich // *Electrophysical processing methods in modern industry: Proceedings of the II International scientific and practical conference of young scientists, graduate students and students, Perm, December 18-20, 2018*. - Perm: Perm National Research Polytechnic University, 2019. - P. 122-128. - EDN ZAYBNZ.

17 Analysis of thermal phenomena during jet focused electrolytic-plasma processing / A. I. Popov, M. I. Tyukhtyaev, M. M. Radkevich, V. I. Novikov // *Scientific and technical statements of the St. Petersburg State Polytechnical University*. – 2016. – No. 4(254). – P. 141-150. – EDN XWLPOJ.

18 Electrophysical regularities of jet electrolytic-plasma processing / A. I. Popov, A. A. Moskalets, S. V. Belyakov [et al.] // *Voronezh Scientific and Technical Bulletin*. – 2023. – Vol. 1, No. 1(43). – P. 4-19. – DOI 10.34220/2311-8873-2023-4-19. – EDN GHWUVC.

19 Popov, A. I. Analysis of morphology under the action of an electrolytic jet on the surface of stainless steels / A. I. Popov // *Voronezh Scientific and Technical Bulletin*. – 2023. – Vol. 4, No. 4(46). – P. 35-48. – DOI 10.34220/2311-8873-2023-35-48. – EDN ICUPCZ.

20 Popov, A. I. Atomic-dislocation model of surface layer removal by jet electrolyte-plasma polishing / A. I. Popov // *Voronezh Scientific and Technical Bulletin*. – 2024. – Vol. 1, No. 1(47). – P. 31-51. – DOI 10.34220/2311-8873-2024-31-51. – EDN DWAPMM.

21 Popov, A. I. Hydrodynamic features of a jet electrolyte-plasma discharge / A. I. Popov // *Technology of mechanical engineering*. - 2023. - No. 6. - P. 5-17. - EDN FWIRAM.

22 Bagautdinova, L. N., Gaisin, F. M. A multichannel discharge in conducting liquid at atmospheric pressure. *High Temp* 48, 126–128 (2010). <https://doi.org/10.1134/S0018151X10010153>

23 High-frequency characteristics of a jet electrolyte-plasma discharge Alexander I. Popov; Anatoly P. Veselovsky; Sergey V. Ermak; Sergey V. Zakharov; Marina V. Yakovitskaya; Vasily G. Teplukhin; Mikhail M. Radkevich Author & Article Information AIP Conf. Proc. 2969, 020023 (2024) <https://doi.org/10.1063/5.0182527>

24 Effect of jet electrolyte-plasma discharge voltage on the morphology of stainless steel samples / A. A. Lisin, K. L. M. Diatu, A. A. Moskalets, A. I. Popov // *Advanced mechanical engineering technologies: collection of articles from the International scientific and practical conference dedicated to the 125th anniversary of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University and the 5th anniversary of the Higher School of Mechanical Engineering, St. Petersburg, May 13–20, 2024*. – St. Petersburg: POLYTECH-PRESS, 2024. – P. 351–355. – EDN DXFIKG.

25 Novoselov, M. V. Improving the Quality of Complex Profile Surfaces by Jet Electrolyte-Plasma Processing / M. V. Novoselov // *Models and Methods for Developing Mechanical Engineering Technologies in the Context of Digitalization of the Russian Economy: Collection of Articles* / Edited by A. A. Popovich, D. P. Gasyuk. - St. Petersburg: POLYTECH-PRESS, 2023. - P. 93-97. - EDN KSKVCM.

26 High-Speed Dimensional Processing of Metallic Materials with an Environmentally Friendly Jet Electrolyte-Plasma Method / A. Popov, A. Popova, A. Fumin [et al.] // *Mechanisms and Machine Science* (book series). - 2022. - Vol. 108 MMS. - P. 481-489. – DOI 10.1007/978-3-030-87383-7_52. – EDN SEEEP.

27 Hydrodynamic modeling of a jet electrolyte-plasma discharge / A. I. Popov, S. A. Kislitsyn, A. A. Moskalets [et al.] // *Models and methods for developing mechanical engineering technologies in the context of digitalization of the Russian economy: Collection of articles* / Edited by A. A. Popovich, D. P. Gasyuk. – St. Petersburg: POLYTECH-PRESS, 2023. – P. 72-76. – EDN UCPQGY.

© Попов А. И., 2024



УДК 621.8

UDC 621.8

2.5.5 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА ЭЛЕКТРОФИЗИКОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE COMBINED METHOD OF MATERIAL PROCESSING

Сухоруков Владимир Николаевич, доцент кафедры технологии машиностроения, к.т.н., Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, e-mail: suvn@mail.ru

Sukhorukov Vladimir Nikolaevich, associate professor of the department of mechanical engineering technology, candidate of technical sciences, Voronezh state technical university, Voronezh, e-mail: suvn@mail.ru

✉¹ **Смоленцев Евгений Владиславович**, профессор кафедры технологии машиностроения, д.т.н., профессор, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, e-mail: smolentsev.rabota@gmail.com

✉¹ **Smolentsev Evgeniy Vladislavovich**, professor of the department of mechanical engineering technology, doctor of technical sciences, professor, Voronezh state technical university, Voronezh, e-mail: smolentsev.rabota@gmail.com

Бабенков Никита Николаевич, магистр кафедры технологии машиностроения, Воронежский государственный технический университет, инженер-конструктор 2 категории ООО «ЭКОТЕХНИКА ХОЛДИНГ», г. Воронеж, e-mail: babenkoff.nikita@yandex.ru

Babenkov Nikita Nikolaevich, master of the department of mechanical engineering technology, Voronezh state technical university, 2nd category design engineer, ECO-TEKHNIKA HOLDING LLC, Voronezh, e-mail: babenkoff.nikita@yandex.ru

Юхневич Сергей Степанович, и.о. заведующего кафедрой технологии машиностроения, к.т.н., доцент, Воронежский государственный технический университет, главный инженер АО КБХА, г. Воронеж, e-mail: serge1975@yandex.ru

Yukhnevich Sergey Stepanovich, acting head of the department of mechanical engineering technology, candidate of technical sciences, associate professor, Voronezh state technical university, chief engineer of JSC KBHA, Voronezh, e-mail: serge1975@yandex.ru

Аннотация. В данной работе изложено описание комбинированного метода обработки материалов, использующего принципы электрохимического электроэрозионного способа обработки. Приведены математические расчеты режимов проведения обработки, а также графики эффективности и точности обработки в зависимости от материалов, используемых в качестве рабочей среды.

Annotation. This paper describes a combined material processing method using the principles of an electrochemical electroerosion treatment method. Mathematical calculations of processing modes are given, as well as graphs of the efficiency and accuracy of processing, depending on the materials used as a working medium.

Ключевые слова: КОМБИНИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА, ЭЛЕКТРОХИМИЯ, ЭЛЕКТРОЭРОЗИЯ, МАТЕРИАЛ.

Keywords: COMBINED PROCESSING, ELECTROCHEMISTRY, ELECTROEROSION, MATERIAL.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Благодаря развитию технологий в современном машиностроении, конфигурация изготавливаемых изделий становится все сложнее с каждым днём, а предъявляемые к таким деталям требования все строже и строже. Помимо этого, в условиях увеличивающейся конкуренции немаловажную роль играет время изготовления [1].

Современные конструкции и детали требуют нестандартного подхода. Например, для обработки пазов на обечайках сложной формы зачастую используются ручной труд, либо последовательное долбление каждого паза. Но на данном этапе обработки такой детали ошибка может быть фатальной, что значит нарушение сроков и неисправимый брак детали. Именно для подобных задач необходимо применение нетрадиционных методов обработки.

2 Материалы и методы

Проанализировав различные методы формообразования заданного объекта, можно утверждать, что применение комбинирования электрохимического и электро-эрозионного методов обработки позволит значительно повысить технологические показатели [1-5]. Этому способствуют небольшие габариты места обработки и соответствующие им небольшие припуски на обработку, что даже без принудительной прокачки рабочей среды позволяет достигать высоких скоростей снятия припуска. Данный факт, в свою очередь, положительно повлияет на эксплуатационные свойства, так как время воздействия поля минимально и, следовательно, погрешность профиля будет минимальна. Кроме того, за счет усилий, которые возникают в рабочей среде из-за разрядов между инструментом и деталью, сам собой решается вопрос удаления продуктов обработки. При этом уменьшается износ электрод-инструмента (ЭИ), увеличивается время между его правками и сокращаются затраты на перенастройку [6-8].

3 Результаты исследований

На рис. 1-5 показано последовательное моделирование процесса. После фрезерной обработки по сложному профилю паза неизбежно будут иметь накопленную погрешность и погрешность самого профиля паза. Она вызвана последовательными поворотами при обработке.

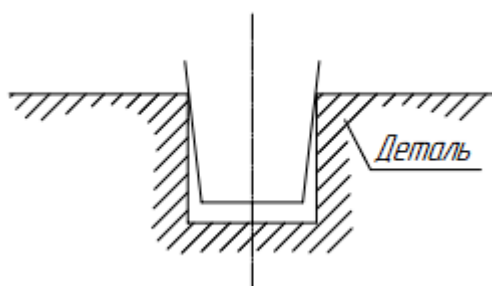


Рисунок 1 – Поиск теоретической продольной плоскости симметрии (оси в сечении) паза, располовинивание припуска на обработку концевых участков

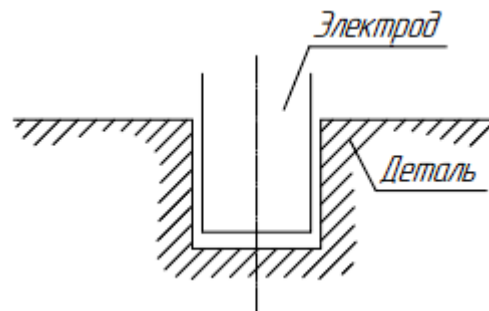


Рисунок 2 – Базирование всех электродов относительно продольной плоскости симметрии (оси в сечении) паза со стороны обработки

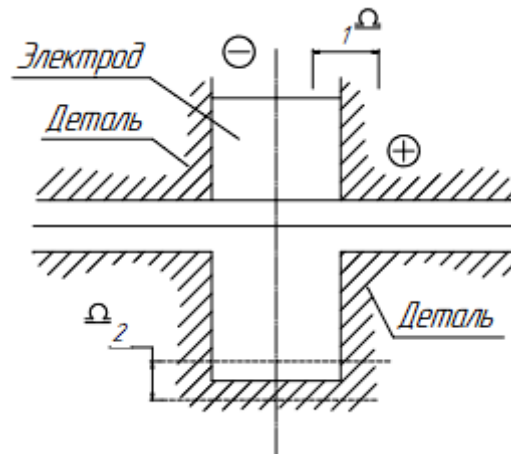


Рисунок 3 – Формирование концевых участков в пределах допусков 1 и 2

Для обработки необходимо определить боковые границы пазов на всей детали, что является сложной задачей. Базирование электрода выполняется по произвольному фрезерованному пазу с максимальным совмещением осей. Для этого используется приём симметричного перераспределения припусков, осуществляемый через базирование клиновидного фиксатора по боковым стенкам паза.

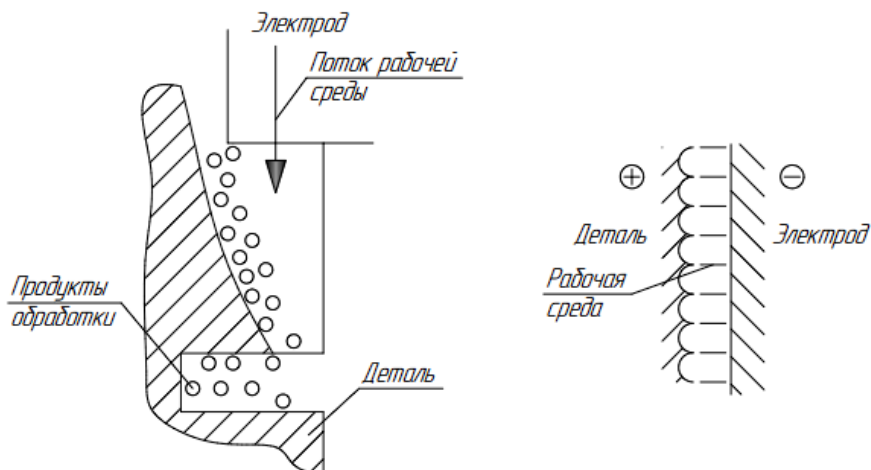


Рисунок 4 – Подача тока от генераторов для электроэрозионной и электрохимической обработки



Рисунок 5 – Вынос продуктов обработки

Основываясь на особенностях инструмента положение фиксатора тщательно устанавливается относительно рабочих элементов. Именно это положение определяет размеры области, которая будет обрабатываться. Для обеспечения точного углового расположения остальных элементов существует зона допуска, которая позволяет настроить инструмент. Точность выбора инструмента зависит от качества участка, который будет обрабатываться на детали. Получение радиальных пазов в процессе изготовления является довольно простой задачей. Она решается за счёт изготовления пазов при помощи станков с модулем ЧПУ, кроме того, возможно использование оптических делительных головок типа ОДГ-10А с целью деления под определённые углы. Важно отметить, что для настоящих заготовок отклонение размеров может составлять разницу между несколькими микронами и несколькими угловыми секундами наружного диаметра. Также следует отметить важность изоляции фиксатора от заготовки, поскольку она позволяет провести объективный контроль правильности базирования. Для этого применяется подача низковольтного тока (от 1В до 3В) через заготовку и электрод. Таким образом, нормальное положение характеризуется отсутствием металлического контакта между электродом и заготовкой.

Прошивка выполняется одновременным воздействием электрохимическим и электроэрозионным методами [8-11], при этом происходит их последовательное воздействие. Электроэрозия отвечает за растворение оксидной плёнки с поверхности, а также вызывает ритмичное колебание жидкости в межэлектродном зазоре. За счет этого скорость анодного растворения возрастает в разы благодаря происходящей депассивации. Особенно это проявляется при малой глубине обработки. Ритмичная пульсация обеспечивает постоянное вымывание продуктов эрозии из зоны обработки.

В результате комбинированной обработки шероховатость поверхности сравнима с показателями, которых можно достичь фрезерованием [12-15]. Однако иногда необходимо удалить прокалённый слой и уменьшить высоту образовавшихся неровностей. Такой эффект можно получить путём отключения электроэрозионного генератора с проведением анодного растворения без прокачки рабочей среды в течении короткого промежутка времени [16-18].

Для предотвращения возникновения короткого замыкания на конце применяется тонкая плёнка или наносится диэлектрический лак. Кроме того, перемещение электрода после обработки необходимо для калибровки участка паза с помощью инструмента, у которого профиль имеет меньший износ.

Важно помнить, что износ электрода приводит к изменению его размеров и формы, что требует корректировки рабочей части. Период между ремонтами и размер припуска определяют на основе износа боковых поверхностей и конечной части. Критерием для оценки является допустимое значение глубины и ширины паза, величина допуска для глубины и ширины паза.

Скорость удаления v материала при обработке напрямую зависит от глубины прошивки. Для отверстий сначала $v = 20-30$ мм/мин, но после преодоления 3-4 миллиметров скорость подачи уменьшается и становится близкой к электрохимической прошивке с прокачкой жидкости. Объяснить это можно скоростью удаления продуктов обработки, которая снижается из-за диффузионных ограничений [19-21].

На основе физического моделирования была разработана математическая модель, которая описывает взаимодействие поверхностей при сохранении заданных показателей. Из физической модели следует, что для улучшения характеристик процесса необходимо стремиться к максимальной скорости снятия материала, за счёт чего при соответствующем контроле будут обеспечиваться необходимые параметры точности и качество поверхностного слоя.

Шероховатость и глубина слоя являются основными параметрами оценки. Улучшение этих параметров происходит на финальной стадии обработки.

Без учёта данных параметров скорость можно определить по формуле [3]:

$$V_{\Sigma} = V_1 + V_2, \quad (1)$$

где V_{Σ} – скорость линейной подачи инструмента при комбинированной обработке, мм/с; V_1 – скорость анодного растворения материала при депассивации поверхности электроэрозионной составляющей мм/с; V_2 – скорость съёма материала электроэрозионной составляющей, мм/с.

Из [3] известно, что:

$$V_1 = \frac{\eta\alpha}{\gamma} \cdot \frac{\chi(U - \Delta U)}{S}, \quad (2)$$

где η – выход по току, безразмерный коэффициент; ΔU – потери напряжения в зазоре, В; U – напряжение на электродах, В; χ – проводимость, См/мм; S – межэлектродный зазор, мм; α – электрохимический эквивалент, мг/(А·с); γ – плотность обрабатываемого материала, мг/мм³.

По условиям для пробоя в среде данного электролита выбирается величина S . Она прямо пропорциональна электропроводности и колеблется в интервале от 0,02 до 0,1 мм.

Из [3] скорость подачи за счёт электроэрозионной обработки составит:

$$V_2 = k_5 \cdot A_u \frac{1}{q \cdot \tau \cdot F}, \quad (3)$$

где k_5 – эмпирический коэффициент, зависящий от рабочей среды, режимов обработки, материалов и размеров электродов, мм·мс²/кг; A_u – энергия импульса, Дж; q – скважность импульсов, определяется как отношение периода повторения импульсов к их длительности; τ – длительность импульса, с; F – площадь обрабатываемой поверхности со стороны его торца, мм². Z – припуск, мм, определяемый от исходной поверхности прямо перед калибровкой. Если высота микронеровностей не превышает заданных в конструкторской документации значений, то припуск берётся равным слою, подлежащему удалению – T .

$$Z = T, \quad (4)$$

Если же требование чертежа к высоте неровностей после обработки не выполняется, то:

$$Z = T + (R_{Z1} - R_{Z2}), \quad (5)$$

где R_{Z1} – высота микронеровностей до обработки, мкм; R_{Z2} – высота неровностей, заложенная в чертеже, мкм.

Анодное растворение происходит только при минимальных межэлектродных зазорах и захватывает малую область. Схема процесса представлена на рис. 6.

При выключении электроэрозионного процесса зазор S не может быть меньше пробойного расстояния и составляет 0,02-0,08 мм.

Для неподвижных электродов время формирования поверхности составит:

$$t \geq \frac{S + Z}{2\eta \frac{\alpha}{\gamma} \chi(U - \Delta U)}. \quad (6)$$

Общее время обработки определяется по зависимости:

$$t_0 = \frac{L}{V_Z} + t, \quad (7)$$

где L – глубина обработки, мм.

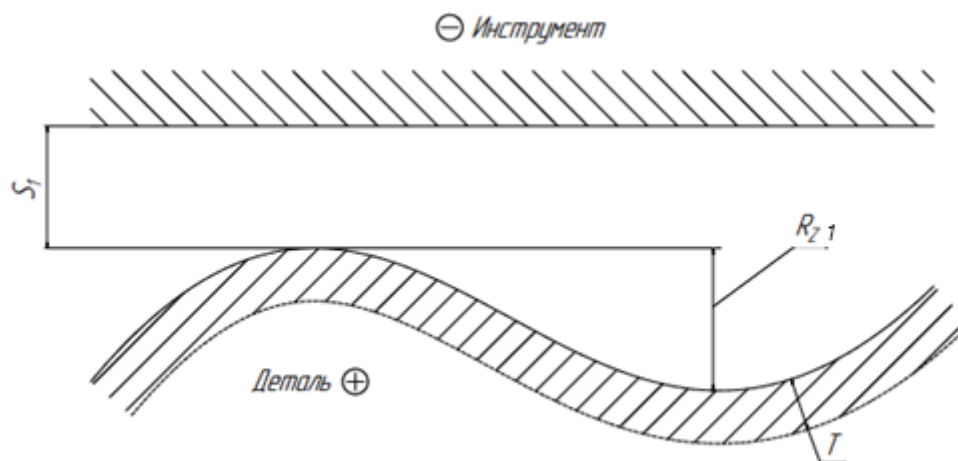


Рисунок 6 – Схема формирования качества поверхности на заключительном этапе обработки

Зависимость (5) является ключевой функцией, которая обеспечивает обработку соединяемых поверхностей. Для достижения точности соединения необходимо правильно определить форму и размеры используемого инструмента.

Технологические параметры обработки имеют влияние на изменение скорости комбинированной обработки и износ инструмента.

Принятие выражения (5) в качестве управляющей функции позволяет осуществлять эффективную обработку соединяемых поверхностей. Достижимая точность соединения зависит от формы и размеров используемого инструмента.

4 Обсуждение и заключение

На рис. 7 представлена диаграмма изменения скорости обработки в зависимости от силы тока различных материалов ЭИ толщиной 2,5 мм в среде с проводимостью 0,0254 См/м.

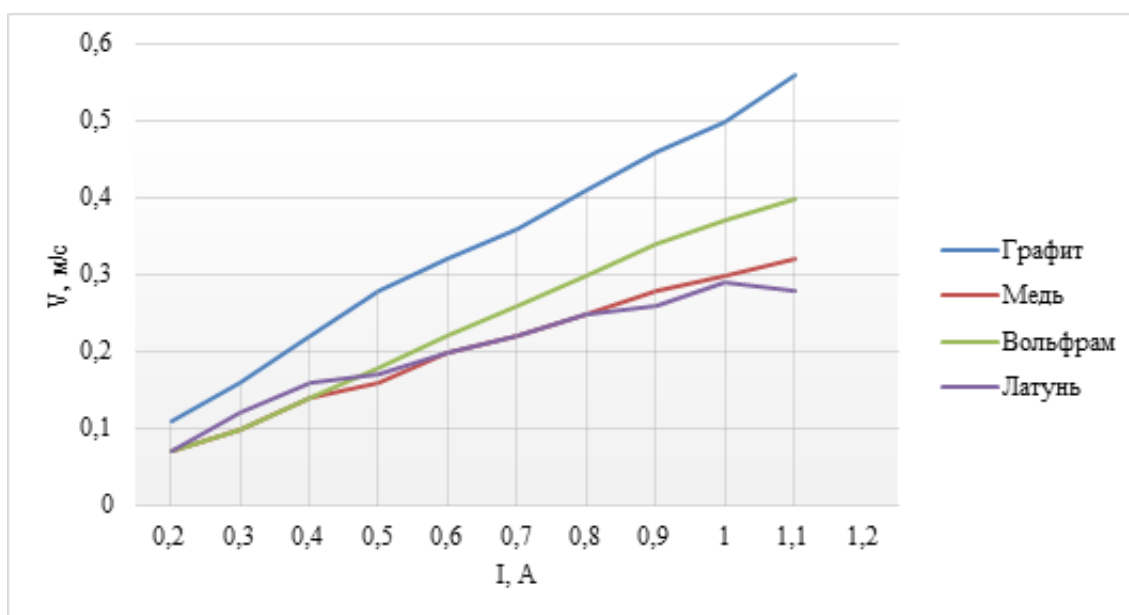


Рисунок 7 – График зависимости скорости обработки материала силы тока от электропроводности рабочей среды 15 % NaCl + 5 % NaNO₃

Предлагаемую обработку проводили в электролите, содержащем 15 % NaCl + 5 % NaNO₃. Проанализировав данные, полученные методом исследования, можно сказать, что скорость обработки постепенно увеличивается по мере увеличения напряжения на RC-генераторе.

Характер вышеприведённой зависимости варьируется от материала. Наилучший метод обработки достигается с помощью углеродного инструмента. В области стабильности процесса ($I = 0,6-1$ А) медь, медь и вольфрам имеют одинаковую скорость обработки.

Кроме того, важным фактором, оказывающим влияние на эффективность обработки, можно назвать электропроводность электролита, которая, в свою очередь, напрямую зависит от его состава. На диаграмме (рис. 8) представлена зависимость изменения скорости обработки V в зависимости от состава электролита и его проводимости χ .

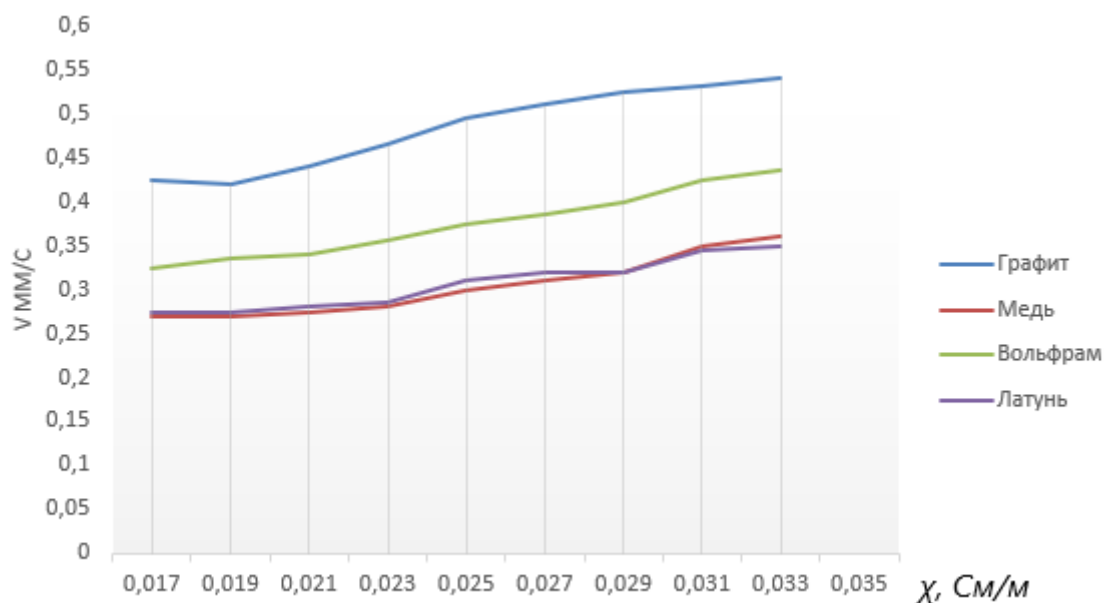


Рисунок 8 – График зависимости скорости комбинированной обработки от изменения соотношения NaCl и NaNO₃ в электролите при рабочем постоянном токе $I = 0,9$ А для различных материалов

Из графика видно, что скорость обработки повышается, но в пределах 10 %, хотя результаты экспериментов свидетельствуют о том, что износ ЭИ так же начинает увеличиваться. Последнее ведёт к снижению точности обработки, требует более частой переналадки станка, что в итоге сводит на нет выигрыш в производительности.

Таким образом, подтверждается тезис о том, что обоснованное применение комбинированных методов обработки с правильным выбором структуры воздействий, приводит к значительному выигрышу в показателях процесса. При этом затраты на технологию возрастают незначительно и быстро окупаются.

Список литературы

- 1 Справочник технолога (справочное издание) / под. ред. Суслова А.Г. // М.: Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с.
- 2 Смоленцев, Е. В. Проектирование электрических и комбинированных методов обработки. М. Машиностроение. – 2005. – 511 с.
- 3 Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. В 2 т. / Под ред. В. П. Смоленцева. М: Высшая школа, 1983. – 247 с.
- 4 Комбинированные методы обработки / В. П. Смоленцев, А. И. Болдырев, А. В. Кузовкин, Г. П. Смоленцев, А. И. Часовских. – Воронеж: ВГТУ, 1996. – 168 с.

- 5 Смоленцев, В. П. Влияние электрохимической размерной обработки на физико-механические характеристики металлов // Электрохимическая обработка металлов. Сб. науч. тр. Кишинев: "Штиинца", 1972. – 226 с.
- 6 Сулима, А. М. Качество поверхностного слоя и усталостная прочность деталей из жаропрочных и титановых сплавов / А. М. Сулима, М. И. Евстигнеев. М.: Машиностроение, 1974. – 255 с.
- 7 Состояние и перспективы развития комбинированных методов обработки / Смоленцев В. П., Смоленцев Е. В. // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. – 2017. – № 2 (41). – С. 5-9.
- 8 Абляз, Т. Р. Изучение изменения свойств электродов в зависимости от режимов проволочно-вырезной электроэрозионной обработки // Вестник ПГТУ. Машиностроение, материаловедение. – 2011. – Т. 13. – № 1. – С. 87-93.
- 9 Абляз Т. Р., Шлыков Е. С., Кремлев С. С. Применение электродов-инструментов с покрытием для электроэрозионной обработки стали 38Х2Н2МА // СТИН. – 2017. – № 5. – С. 20-21.
- 10 Эмпирическое моделирование межэлектродного при электроэрозионной обработке стали 38Х2Н2МА / Т.Н. Абляз, Е.С. Шлыков, Д.А. Борисов, А.А. Шумков, И.Ю. Летягин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2017. – Т. 19, № 2. – С. 67-79.
- 11 Куц, В.В. Исследование процесса получения отверстий полым электродом на модернизированном электроэрозионном станке ЧПУ / В. В. Куц, М. С. Разумов, Д. А. Зубков, А.С. Бышкин, А. А. Неструев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 3. – С. 395-402.
- 12 Science-based technologies creation based on combined processing methods for fabrication aerospace filters / A. Yu. Ryazantsev, A.A. Shirokzhukhova, V.G. Gritsyuk // Materials Today: Proceedings, 19 (2019), 2065-2067 DOI: 10.1016/j.matpr.2019.07.075
- 13 Innovative Methods For Obtainig Artificial Roughness On The Surfaces Of Heat-Loaded Parts Of The Liquid Rocket Engines Combustion Chamber / A.Yu. Ryazantsev, A.A. Shirokzhukhova, Yukhnevich S.S. // AIP Conference Proceedings 2318, 030004 (2021); <https://doi.org/10.1063/5.0035987>.
- 14 Micro electrical discharge machining single discharge temperature field simulation / Z.L. Peng, Y.N. Li, D. Fang, Y.Y. Zhang. - USA: JCPRC5, 2013. - P. 859-864.
- 15 Jiajing Tang, Xiaodong Yang. A Thermo-hydraulic Modeling for the Formation Process of the Discharge Crater in EDM // 18th CIRP Conference ISEM XVIII. – 2016. – № 42. – P. 685-690.
- 16 Obara H. Detection of Discharging Position on WEDM // Proceedings of 10th ISEM, 1992 - p. 404-409.
- 17 Umang Maradia. Meso-Micro EDM: diss. Dr. sc. ETH Zurich No. 22024. - Zurich, 2014. - 246 p.
- 18 Matthias Hackert-Oschatzchen. Single Discharge Simulations of Needle Pulses for Electrothermal Ablation. - Rotterdam: COMSOL Conference, 2013. – P. 1-5.
- 19 Weingartner E., Kuster F., Wegener K. Modeling and simulation of electrical discharge machining // 1st CIRP Global Web Conference. – 2012. – № 2. – P. 74-78.
- 20 Chander Parkash Khatter Analysis of surface integrity in electrical discharge machining (EDM) process for tungsten carbide material: dis. Ph. D. – Patiala, India, 2010.
- 21 Kirillov, O. The technology of combined processing of extruded materials / O. Kirillov, V. Smolentsev, S. Yukhnevich // MATEC Web of Conferences: 2018 International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2018, Sevastopol, 10–14 сентября 2018 года. – Sevastopol: EDP Sciences, 2018. – P. 01004. – DOI 10.1051/matecconf/201822401004. – EDN BYTCJA.
- 22 Yukhnevich, S. Provision of performance parameters of the product made from extruded materials by means of technological methods of combined processing / S. Yukhnevich, O. Kirillov, E. Kotukov // Materials Today: Proceedings: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2019, Sevastopol, 09–13 сентября 2019 года. Vol. 19. – Sevastopol: Elsevier Ltd, 2019. – P. 2382-2384. – DOI 10.1016/j.matpr.2019.08.039. – EDN JPJXTU.

References

- 1 Technologist's Handbook (reference edition) / ed. Suslova A.G. // M.: Innovative mechanical engineering, 2019. 800 p.
- 2 Smolentsev E.V. Design of electrical and combined processing methods M.: Mechanical engineering, 2005 - 511 p.

- 3 Electrophysical and electrochemical methods of materials processing: In 2 volumes/ Edited by V.P. Smolentsev. M.: Higher School, 1983.
- 4 Combined processing methods / V.P. Smolentsev, A.I. Boldyrev, A.V. Kuzovkin, G.P. Smolentsev, A.I. Chasovskikh. Voronezh: VSTU, 1996. 168 p.
- 5 Smolentsev V.P. The influence of electrochemical dimensional processing on the physical and mechanical characteristics of metals // Electrochemical processing of metals. Collection of scientific articles Chisinau: "Stiinza", 1972.
- 6 Sulima A.M. Surface layer quality and fatigue strength of parts made of heat-resistant and titanium alloys / A.M. Sulima, M.I. Evstigneev. M.: Mashinostroenie, 1974.
- 7 State and prospects of development of combined processing methods / Smolentsev V.P., Smolentsev E.V. // Bulletin of the Rybinsk State Aviation Technological Academy named after P.A. Solovyov. 2017. No. 2 (41). pp. 5-9.
- 8 Ablyaz T.R. Study of changes in the properties of electrodes depending on the modes of wire-cut electroerosion treatment // Bulletin of PSTU. Mechanical engineering, materials science. - 2011. - Vol. 13. - No. 1. - pp. 87-93.
- 9 Ablyaz T.P., Shlykov E.C., Kremlev S.S. Application of coated tool electrodes for electroerosion treatment of 38X2N2MA steel // STIN. - 2017. - No. 5. - pp. 20 -21
- 10 Empirical modeling of interelectrode flow during electroerosion treatment of 38X2N2MA steel / T.N., Balyas, E.S. Shlykov, D.A. Borisov, A.A. Shumkov, I.Yu. // Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Mechanical engineering, materials science. - 2017. - Vol. 19, No. 2. - pp. 67-79.
- 11 Kutz V.V. Investigation of the process of obtaining holes with a hollow electrode on a modernized electroerosion CNC machine / V.V. Kutz, M.S. Razumov, D.A. Zubkov, A.S. Byshkin, A.A. Nestruev // Izvestiya Tula State University. Technical sciences. 2020. No. 3. pp. 395-402.
- 12 Science-based technologies creation based on combined processing methods for fabrication aerospace filters / A.Yu. Ryazantsev, A.A. Shirokzhukhova, V.G. Gritsyuk // Materials Today: Proceedings, 19 (2019), 2065-2067 DOI: 10.1016/j.matpr.2019.07.075
- 13 Innovative Methods For Obtainig Artificial Roughness On The Surfaces Of Heat-Loaded Parts Of The Liquid Rocket Engines Combustion Chamber / A.Yu. Ryazantsev, A.A. Shirokzhukhova, Yukhnevich S.S. // AIP Conference Proceedings 2318, 030004 (2021); <https://doi.org/10.1063/5.0035987>
- 14 Micro electrical discharge machining single discharge temperature field simulation / Z.L. Peng, Y.N. Li, D. Fang, Y.Y. Zhang. - USA: JCPRC5, 2013. - P. 859-864.
- 15 Jiaying Tang, Xiaodong Yang. A Thermo-hydraulic Mod-eling for the Formation Process of the Discharge Crater in EDM // 18th CIRP Conference ISEM XVIII. - 2016. - № 42. - P. 685-690.
- 16 Obara H. Detection of Discharging Position on WEDM // Proceedings of 10th ISEM, 1992 - p. 404-409.
- 17 Umang Maradia. Meso-Micro EDM: diss. Dr. sc. ETH Zurich No. 22024. - Zurich, 2014. - 246 p.
- 18 Matthias Hackert-Oschatzchen. Single Discharge Simula-tions of Needle Pulses for Electrother-mal Ablation. - Rotterdam: COMSOL Conference, 2013. - P. 1-5.
- 19 Weingartner E., Kuster F., Wegener K. Modeling and sim-ulation of electrical discharge machin-ing // 1st CIRP Global Web Conference. - 2012. - № 2. - P. 74-78.
- 20 Chander Parkash Khatter Analysis of surface integrity in electrical discharge machining (EDM) process for tungsten carbide material: dis. Ph. D. - Patiala, India, 2010.
- 21 Kirillov, O. The technology of combined processing of extruded materials / O. Kirillov, V. Smolentsev, S. Yukhnevich // MATEC Web of Conferences: 2018 International Conference on Mod-ern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2018, Sevastopol , September 10–14, 2018. – Sevastopol: EDP Sciences, 2018. – P. 01004. – DOI 10.1051/mateconf/201822401004. – EDN BYTCJA.
- 22 Yukhnevich, S. Provision of performance parameters of the product made from extruded materials by means of technological methods of combined processing / S. Yukhnevich, O. Kirillov, E. Kotukov // Materials Today: Proceedings: International Conference on Modern Trends in Manufact-uring Technologies and Equipment, ICMTMTE 2019, Sevastopol, September 09–13, 2019. Vol. 19. – Sevastopol: Elsevier Ltd, 2019. – P. 2382-2384. – DOI 10.1016/j.matpr.2019.08.039. – EDN JPJX-TU.



2.5.5 – технология и оборудование механической и физико-технологической обработки

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ШЛИФОВАНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

EVALUATION OF THE EFFECT OF GRINDING MODES ON THE ROUGH-NESS OF PLASMA COATINGS

✉¹ **Бухтояров Владимир Николаевич**, к.т.н., доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, e-mail: 79081469891@yandex.ru

✉¹ **Bukhtoyarov Vladimir Nikolaevich**, candidate of technical sciences, associate professor of the department of production, repair and operation of machines, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: 79081469891@yandex.ru

Иванников Валерий Александрович, д.т.н., профессор кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Ivannikov Valery Aleksandrovich, doctor of technical sciences, professor of the department of production, repair and operation of machines, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

Голев Александр Дмитриевич, к.т.н., доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Golev Aleksandr Dmitrievich, candidate of technical sciences, associate professor of the department of production, repair and operation of machines, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

Аннотация. Представлено оборудование для лабораторных испытаний при проведении шлифования плазменных покрытий. Изложены результаты исследования о влиянии режимов механической обработки абразивным инструментом на качество поверхности плазменных покрытий. На поверхности были нанесены три материала: на основе железа, никеля и самофлюсующегося порошка для плазменного напыления, с последующим их шлифованием и изучением качества поверхности.

Annotation. The equipment for laboratory tests during grinding of plasma coatings is presented. The results of the study of the influence of the modes of mechanical treatment with an abrasive tool on the quality of the surface of plasma coatings are presented. Three materials were applied to the surfaces - based on iron, nickel and self-fluxing powder for plasma spraying, with their subsequent grinding and study of the surface quality.

Ключевые слова: ОБРАБОТКА АБРАЗИВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ, ПОКРЫТИЕ, ШЕРОХОВАТОСТЬ, КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ, РЕЖИМЫ ШЛИФОВАНИЯ, ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ.

Keywords: ABRASIVE TOOL PROCESSING, COATING, ROUGHNESS, SURFACE LAYER QUALITY, GRINDING MODES, GRINDING ATTACHMENT.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Развитие и повышение эффективности современного машиностроения, автомобилестроения и других отраслей производства требует повышения удельных нагрузок в различных узлах механизмов и агрегатов. Все это, в свою очередь, вызывает необходимость усовершенствовать и разрабатывать новые способы упрочнения рабочих поверхностей деталей. Причём к данным поверхностям предъявляются противоречивые специфические требования, соответствующие условиям работы деталей. При значительных нагрузках данные поверхности должны одновременно хорошо сопротивляться изнашиванию и усталостному разрушению. При классических способах изготовления деталей чаще всего используется термическая и химико-термическая обработка, которая позволяет обеспечить высокую твёрдость поверхности в пределах 60 HRC, сохранив при этом достаточно вязкую сердцевину. Этого вполне достаточно для обеспечения долговечной работы поверхности трения на весь срок службы изделия как по износостойкости, так и по сопротивлению усталости. Но не всегда конструкция детали или условия её эксплуатации позволяют в качестве способа повышения физико-механических свойств рабочих поверхностей использовать термическую и химико-термическую обработку. Возникают ситуации, когда на поверхность могут воздействовать агрессивная химическая среда, повышенная температура, ударные нагрузки, а иногда деталь испытывает все это одновременно. Поэтому конструкторы и технологи вынуждены искать альтернативу термообработке. В качестве такой альтернативы может выступать технология нанесения плазменных покрытий.

Машиностроение обладает достаточным арсеналом технологий нанесения функциональных покрытий различного назначения на поверхности, для которых обеспечиваются необходимые физико-механические свойства, характерные для конкретного сочетания условий работы. При этом каждый из технологических способов нанесения покрытий имеет свои достоинства и недостатки, которые и определяют его применимость для деталей того или иного рода.

Плазменным напылением, имеющим несомненные преимущества, можно нанести широкую номенклатуру функциональных покрытий, начиная от термостойкого и заканчивая износостойким без излишней термической нагрузки на деталь. Это в значительной степени определяется наносимым порошкообразным материалом, в частности, его химическим составом, а также технологическими режимами нанесения конкретного покрытия. При этом физико-механические свойства материала покрытия, уровень внутренних напряжений в самом покрытии и прочность соединения с основой непосредственно оказывают влияние на выбор способов и режимов механической обработки поверхности детали для достижения необходимого качества поверхностного слоя [1-4].

В литературных источниках нет глубокого анализа получаемых свойств плазменных покрытий после окончательной механической обработки с учётом сравнительной характеристики режущего инструмента, а режимы механической обработки носят характер рекомендаций, не имеющих достаточного научного обоснования [5-7]. Кроме того, не установлена связь между конкретными технологическими режимами механической обработки и показателями качества поверхностного слоя, не вскрыты процессы и явления, происходящие при микрорезании абразивным инструментом неоднородного по составу ламелеобразного плазменно-порошкового покрытия.

Цель работы – установление влияния технологических режимов механической обработки шлифованием разнородных плазменно-порошковых покрытий на шероховатость поверхностного слоя деталей машин.

Полученные результаты могут быть полезны при проектировании узлов и деталей машин, при назначении технологических режимов механической обработки деталей с напыленными плазменными покрытиями. Опыт работы будет интересен специалистам, занимающимся изучением физико-механических свойств плазменных или других газотермических покрытий.

2 Материалы и методы

Для напыления покрытий использовалась разработанная на кафедре ПРЭМ установку воздушно-плазменного напыления [4-5]. В качестве материала покрытий были выбраны: 1) самофлюсующийся порошок ПГ-СР4 по ГОСТ 21448-75; 2) порошки на основе железа ПРХ18Н9 по ГОСТ 14086-68 ; 3) порошок на основе никеля и алюминия ПН85Ю15 по ТУ 14-127-104-78. Выбор материалов обусловлен широким спектром применимости и доступностью для ремонтных предприятий.

Предварительно перед напылением образцы подвергались пескоструйной обработке, обезжириванию, непосредственно после чего наносилось покрытие для предотвращения окислительного воздействия кислорода воздуха. Напыление осуществлялось согласно режимам, представленным в табл. 1 и рекомендованных в источниках [7-9]. Образцы выдерживали на протяжении 24 часов в предварительно нагретой печи, для релаксации внутренних напряжений в покрытии.

Таблица 1 – Режимы плазменного напыления порошковых материалов

Материал	Дистанция напыления, мм	Мощность дуги плазмотрона, кВт	Расход плазмообразующего воздуха, м ³ /с	Расход транспортирующего пропана, м ³ /с
ПГ-СР4	120	30,0 ... 31,0	$0,75 \cdot 10^{-3} \dots 0,78 \cdot 10^{-3}$	$0,50 \cdot 10^{-4} \dots 0,55 \cdot 10^{-4}$
ПРХ18Н9	100	24,0 ... 25,0	$0,80 \cdot 10^{-3} \dots 0,90 \cdot 10^{-3}$	$0,50 \cdot 10^{-4} \dots 0,55 \cdot 10^{-4}$
ПН85Ю15	170	37,0 ... 38,0	$0,65 \cdot 10^{-3} \dots 0,70 \cdot 10^{-3}$	$0,45 \cdot 10^{-4} \dots 0,50 \cdot 10^{-4}$

Для шлифования плазменных покрытий применялось приспособление, внешний вид которого представлен на рис. 1 с установкой, а принципиальная схема на рис. 2.

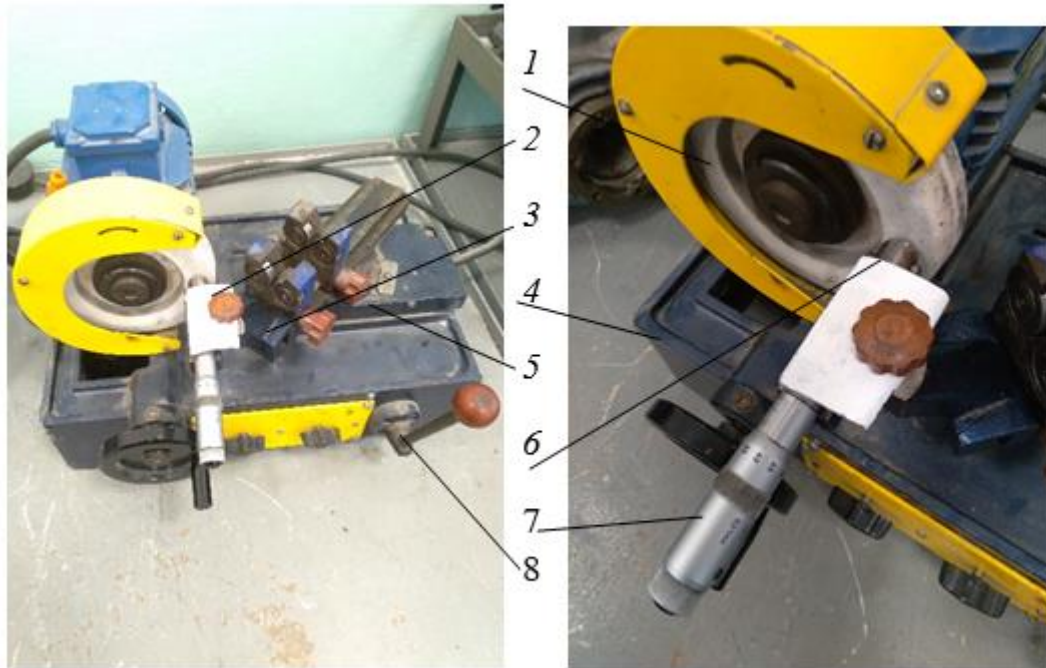
Устройство представляет собой станину 4, на которую устанавливается электродвигатель с шлифовальным кругом 1 и столом 5, на котором крепится призма 3. На призму 3 установлено приспособление 2, продольное перемещение происходит при помощи рукоятки 6 (рис. 1).

Установленное на подающий стол приспособление, представленное на рис. 2, настраивается следующим образом. На призму 1 устанавливается оправка 6, которая вместе с микрометром 7 накрывается крышкой 2 и вместе они фиксируются винтом 3. Микрометром 7 регулируется глубина резания. Образец перемещается до касания круга (определяется по появлению искр металла от круга без применения охлаждающей жидкости). Далее образец отводится и помощью микрометра 7 настраивается по шкале необходимая глубина резания и подавалась охлаждающая жидкость. С помощью продольной подачи образца осуществляем шлифование покрытия. Частота вращения электродвигателя регулируется тиристорным регулятором.

Шлифование на экспериментальной установке осуществляется с режимами: при скорости резания 17 м/мин глубина резания изменялась от 0,005 до 0,025 мм с интервалом 0,005 мм (рис. 3, а); при глубине резания 0,010 мм скорость резания менялась от 15 до 30 м/мин с интервалом 5 м/мин (рис. 3, б). Продольная подача образца осуществлялась вручную с помощью стола 5 рукояткой 6 и находилась в пределах 0,5 ... 1,0 м/мин (рис. 1). Охлаждающей жидкостью служила вода с добавкой 5 % эмульсола при расходе 0,6 ... 0,85 л/мин [10].

Для обработки плазменных покрытий применялся круг шлифовальный 25АФ46 L6V35Б3 ГОСТ 2424-83.

Для исследования шероховатости поверхности после шлифования использовался профилограф-профилометр 130 и набор калибровочных образцов «ПРО-10» производства «Завод ПРОТОН».



a – внешний вид установки; *б* – внешний вид приспособления;
1 – шлифовальный круг; 2 – приспособление (рис. 2); 3 – призма; 4 – станина;
5 – стол рабочий; 6 – оправка; 7 – микрометр; 8 – рукоятка

Рисунок 1 – Установка с приспособлением для обработки плазменных покрытий шлифованием

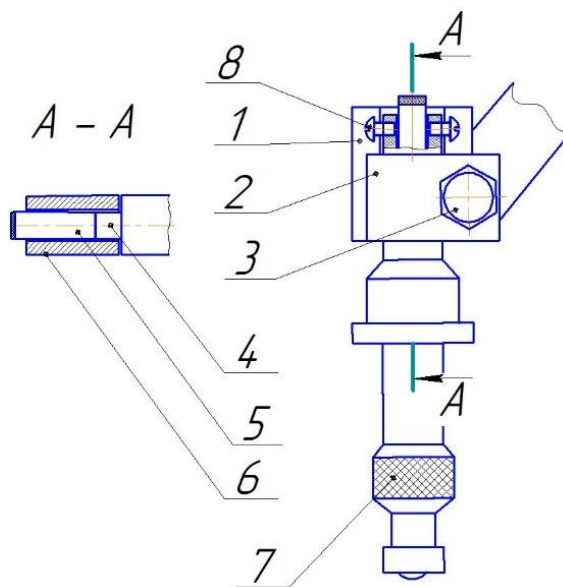
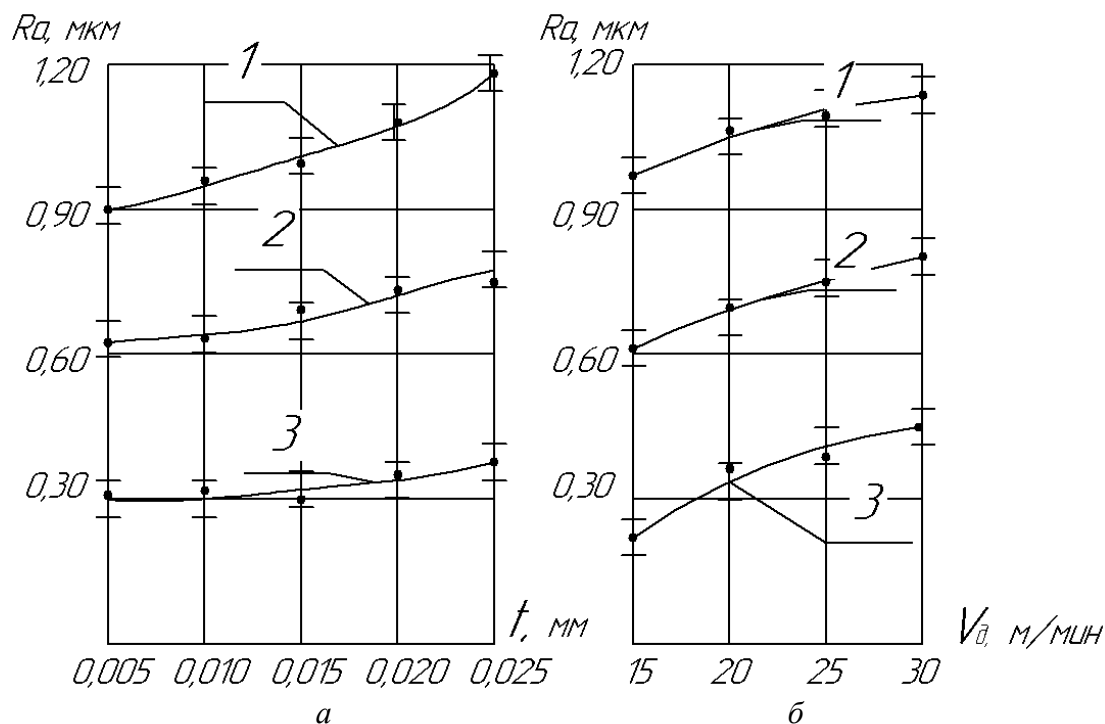


Рисунок 2 – Принципиальная схема приспособления для шлифования

3 Результаты исследований

Как показывают результаты исследований (рис. 3) шероховатость поверхности плазменных покрытий возрастает незначительно с увеличением глубины резания. Этот факт объясняется тем, что с увеличением глубины резания зерна шлифовального круга активнее изнашиваются, разрушая шлифовальный круг, что отрицательно влияет на качество поверхности [10-11].



a – влияние глубины резания при скорости резания 17 м/мин;
б – влияние скорости резания при глубине резания 0,010 мм;
 1 – порошок на основе железа ПРХ18Н9; 2 – порошок ПН85Ю15;
 3 – самофлюсующийся порошок ПГСР-4

Рисунок 3 – Зависимость шероховатости поверхности Ra от глубины резания t и скорости резания V_d при различных видах покрытий

Увеличение скорости резания приводит к увеличению числа элементарных резов и их количества на единицу длины детали, тем самым достигается снижение шероховатости поверхности покрытия [12-13].

Шероховатость поверхности плазменных покрытий в значительной степени определяется значением режимов резания и их физико-механическими свойствами. С увеличением частоты вращения появляются дополнительные вибрации, налипы на шлифовальный круг, микротрещины, открываются поры. Немаловажное значение играет число проходов: чем больше число проходов, тем менее шероховатой становится поверхность. С другой стороны, при этом открывается большее количество пор [14].

4 Обсуждение и заключение

В процессе проведения шлифования плазменных покрытий необходимо обработку проводить минимум в два этапа – предварительная и окончательная обработка. При этом нужно стремиться к тому, чтобы глубина и скорость резания была минимальными из рекомендуемых значений. Для среза заданного припуска на механическую обработку, традиционно, необходимо выполнять в несколько проходов.

Как показывает опыт, в значительной степени ухудшает качество поверхностей наличие в составе напыляемого порошка вязких материалов, которые забивают шлифовальный круг, вызывают прилипание, появление пор, микро- и макротрещин.

Полученные данные работы позволяют сделать вывод, что в результате изменения режимов шлифования шероховатость поверхности покрытия при указанных в работе режимах варьируется в интервале от 0,3 до 1,2 Ra . Следовательно, меняются параметры макро- и микрогеометрии поверхности, определяемые физико-механическими свойствами материала поверхности. В

работе рассмотрено, как основные режимы шлифования влияют на шероховатость поверхности. Кроме данного показателя для рабочих поверхностей важны другие эксплуатационные показатели, такие как прочность соединения с основным материалом, износостойкость, напряжения в покрытии, то есть основные физико-механические свойства покрытия. В информационных источниках работ, посвященных влиянию шлифования на указанные характеристики, не так много, поэтому данный вопрос целесообразен для дальнейшего изучения.

Список литературы

- 1 Черноиванов, В. И. Восстановление коленчатых валов / Черноиванов В.И., Лялякин В.П. // Техника в сельском хозяйстве – 1986. - № 1. - с.57-59.
- 2 Яковлев, К. А. Разработка процесса термомеханического упрочнения поверхностей с газотермическими покрытиями: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Яковлев К. А. / Воронежская гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 1998 – 17 с.
- 3 Соснин, Н. А. Пламенные технологии. Руководство для инженеров / Н. А. Соснин, С. А. Ермаков, П. А. Тополянский. – СПб : Изд-во Политехн. ун-та, – 2008. – 406 с.
- 4 Бухтояров, В. Н. Технология восстановления цилиндрических поверхностей валов плазменным напылением с одновременным оплавлением выносной модулируемой дугой (на примере коленчатого вала): Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Бухтояров В.Н. / Воронежская гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 2003. – 16 с.
- 5 Иванников, В. А. Разработка процесса плазменного напыления покрытий на внутренние поверхности деталей машин: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Иванников В.А. / Воронежская гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 2000. – 16 с.
- 6 Иванников, В. А. Изучение пористости плазменных покрытий из самофлюсующихся порошков после их оплавления плазматроном / Инновации в автомобильном транспорте. материалы Всероссийской научно-технической конференции / Иванников В.А., Бухтояров В.Н., Голев А.Д., Крухмалев С.Н. – Воронеж, 2022. – с. 48-52.
- 7 Чёсов, Ю. С. Шероховатость поверхности износостойких покрытий после финишной механической обработки / Ю. С. Чёсов, Е. А. Зверев, А. И. Попелюх, П. В. Трегубчак // Обработка металлов. – 2011. – № 1(50). – с. 12-14.
- 8 Пантелеенко, А. Ф. Исследование морфологии и микроструктуры покрытий из диффузионно-легированного порошка ПРХ18Н9, полученных плазменным напылением с последующим лазерным модифицированием / А. Ф. Пантелеенко // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Машиностроение. – 2012. – № 4. – С. 37–39
- 9 Композиционные наноструктурные механически легированные порошки для газотермических покрытий: монография / Ф. Г. Ловшенко, Г. Ф. Ловшенко. – Могилев : Белорус. - Рос. ун-т, 2013. – 215 с.
- 10 Душко О.В. Алмазное шлифование карбидкремниевой керамики для машиностроения: монография / О.В. Душко, В.М. Шумячер. – Волгоград: ВолГАСУ, 2009. – 80 с.
- 11 Фельдштейн, Е. Э. Формирование обработанной поверхности при шлифовании пористых материалов / Е. Э. Фельдштейн // Машиностроение : республиканский межведомственный сборник научных трудов / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: И. П. Филонов (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Технопринт, 2003. – Вып. 19. – С. 357-363.
- 12 Маслов, Е. Н. Основы теории шлифования материалов / Е. Н. Маслов – М.: Машиностроение, 1974. – 318 с.
- 13 Якимов, А. В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов – М.: Машиностроение, 1975. – 176 с.
- 14 Ящерицын, П. И. Шлифование металлов / П.И. Ящерицын, Е.А. Жалнерович – Мн.: Беларусь, 1970. – 324 с.

References

- 1 Chernoiivanov, V. I. Restoration of crankshafts / Chernoiivanov V.I., Lyalyakin V.P. // Technique in agriculture – 1986. - No. 1. - pp.57-59.
- 2 Yakovlev, K. A. Development of the process of thermomechanical hardening of surfaces with gas-thermal coatings: Abstract. ... Candidate of Technical Sciences: 03/05/2011 / Yakovlev K. A. / Voronezh State Forestry Engineering. acad. – Voronezh, 1998 – 17 p.

3 Sosnin, N. A. Flame technologies. Handbook for engineers / N. A. Sosnin, S. A. Ermakov, P. A. Topolyansky. – St. Petersburg : Publishing House of the Polytechnic University. un-ta, – 2008. – 406 p.

4 Bukhtoyarov, V. N. Technology for restoring cylindrical surfaces of shafts by plasma spraying with simultaneous melting by an external modulated arc (using the example of a crankshaft): Abstract. ... Candidate of Technical Sciences: 03/05/2011 / Bukhtoyarov V.N. / Voronezh State Forestry Engineering. acad. – Voronezh, 2003. – 16 p.

5 Ivannikov, V. A. Development of the process of plasma spraying of coatings on the inner surfaces of machine parts: Abstract. ... Candidate of Technical Sciences: 03/05/2011 / Ivannikov V.A. / Voronezh State Forestry Engineering. acad. – Voronezh, 2000. – 16 p.

6 Ivannikov, V. A. Studying the porosity of plasma coatings from self-fluxing powders after their melting with a plasmatron / Innovations in automobile transport. materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference / Ivannikov V.A., Bukhtoyarov V.N., Golev A.D., Krukhmalev S.N. – Voronezh, 2022. – pp. 48-52.

7 Chesov, Yu. S. Surface roughness of wear-resistant coatings after finishing mechanical treatment / Yu. S. Chesov, E. A. Zverev, A. I. Popelyukh, P. V. Tregubchak // Metalworking. – 2011. – № 1(50). – pp. 12-14.

8 Panteleenko, A. F. Investigation of morphology and microstructure of coatings from diffusion-doped powder PRH18H9 obtained by plasma spraying followed by laser modification / A. F. Panteleenko // Bulletin of the Brest State Technical University. Series: Mechanical Engineering. – 2012. – No. 4. – pp. 37-39

9 Composite nanostructured mechanically alloyed powders for gasothermal coatings : monograph / F. G. Lovshenko, G. F. Lovshenko. – Mogilev : Belarus. - Russian University, 2013. – 215 p.

10 Dushko O.V. Diamond grinding of silicon carbide ceramics for machine building: monograph / O.V. Dushko, V.M. Shumyacher. – Volgograd: VolgGASU, 2009. – 80 p.

11 Feldstein, E. E. Formation of the treated surface during grinding of porous materials / E. E. Feldstein // Mechanical engineering : Republican interdepartmental collection of scientific papers / Belarusian National Technical University; editorial board: I. P. Filonov (Chief editor) [et al.]. – Minsk : Technoprint, 2003. – Issue 19. – Pp. 357-363.

12 Maslov, E. N. Fundamentals of the theory of grinding materials / E. N. Maslov – M.: Mashinostroenie, 1974. – 318 p.

13 Yakimov, A.V. Optimization of the grinding process / A.V. Yakimov – M.: Mashino-stroenie, 1975. – 176 p

14 IAshcheritsyn, P. I. Grinding of metals / P.I. IAshcheritsyn, E.A. Zhalnerovich – Mn.: Belarus, 1970. – 324 p.

© Бухтояров В. Н., Иванников В. А., Голев А. Д., 2024



2.5.5 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки

ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ПРИ ИХ СМЕШИВАНИИ НА ПРОЧНОСТЬ ПЛАЗМЕННОГО ПОКРЫТИЯ

INFLUENCE OF DURATION OF MECHANICAL ACTIVATION OF MULTI-COMPONENT POWDER MIXTURE ON THE STRENGTH OF PLASMA COATING

✉¹ **Попов Дмитрий Анатольевич**, к.т.н., доцент кафедры машиностроительных технологий, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, e-mail: qaz.7@mail.ru

✉¹ **Popov Dmitry Anatolyevich**, candidate of technical sciences, associate professor of the department of mechanical engineering technologies, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: qaz.7@mail.ru

Кадырметов Анвар Минирович, д.т.н., профессор кафедры машиностроительных технологий, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, e-mail: kadyrmetov.a@mail.ru

Kadyrmetov Anvar Minirovich, doctor of technical sciences, professor of the department of mechanical engineering technologies, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: kadyrmetov.a@mail.ru

Усков Алексей Иванович, магистрант кафедры машиностроительных технологий, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, e-mail: uskov.aleshcka@yandex.ru

Uskov Alexey Ivanovich, master's student, department of mechanical engineering technologies, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: uskov.aleshcka@yandex.ru

Попов Сергей Александрович, магистрант кафедры машиностроительных технологий, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Popov Sergey Alexandrovich, master's student, department of mechanical engineering technologies, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

Мандрыкин Игорь Александрович, аспирант, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Mandrykin Igor Alexandrovich, postgraduate, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

Попов Петр Николаевич, аспирант, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Popov Petr Nikolaevich, postgraduate, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

Аннотация. В статье рассмотрено влияние продолжительности перемешивания компонентов покрытия FeCoCrAlTiCuMo в специальном смесителе-активаторе на прочность получаемого покрытия. Получено косвенное подтверждение влияния механической активации при смешивании на формирование плазменного покрытия и определено рациональное время смешения. По полученным данным можно судить о возможности создания ВЭС-покрытия при смешении компонентов в инертной атмосфере, позволяющие увеличить прочность покрытия более чем в 2 раза, в сравнении со смешиванием порошков традиционным способом в воздушной атмосфере.

Annotation. The article considers the effect of the duration of mixing the components of the FeCoCrAlTiCuMo coating in a special mixer-activator on the strength of the resulting coating. Indirect confirmation of the effect of mechanical activation during mixing on the formation of the plasma coating was obtained and a rational mixing time was determined. Based on the data obtained, it is possible to judge the possibility of creating a HES coating by mixing the components in an inert atmosphere, which allows increasing the strength of the coating by more than 2 times, in comparison with mixing powders by the traditional method in an air atmosphere.

Ключевые слова: ПЛАЗМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ, КАЧЕСТВО ПОКРЫТИЯ, ПРОЧНОСТЬ, ВРЕМЯ СМЕШИВАНИЯ, МЕХАНИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ, СМЕСИТЕЛЬ.

Keywords: PLASMA SPRAYING, COATING QUALITY, STRENGTH, MIXING TIME, MECHANICAL ACTIVATION, MIXER.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

В современном машиностроении актуальным направлением является получение высокоэнтропийных сплавов (ВЭС) [1], необходимых для обеспечения надёжности и ресурса деталей машин и механизмов, работающих в сложных условиях нагружения и агрессивных средах [2-4]. Традиционными технологиями создания ВЭС являются порошковая металлургия и литье, однако цельнолитые детали из ВЭС, произведённые данными методами, являются дорогостоящими по причине содержания в них ценных компонентов в относительно высоких концентрациях, например HfNbTaTiZrMo, AlFeCrNiTiSi и AlCoCrFeNiTi.

Спекание порошковых материалов - энергоёмкий, дорогостоящий технологический процесс, требующий специальной подготовки, в частности: измельчения и смешивания компонентов, которое достигается при использовании высокоэнергетических установок (мельницы и дробилки) [5].

При восстановлении деталей и нанесении на них покрытий с необходимыми физико-химическими и физико-механическими свойствами активно применяется технология плазменного напыления (ПН) [1, 6, 7]. При этом, в зависимости от конструкции плазматрона в него подаётся либо подготовленная смесь порошковых материалов, либо отдельно порошковые компоненты в сечения канала плазматрона, соответствующие температурам плавления компонентов [7]. В обоих случаях адгезионно-когезионная прочность покрытий остаётся низкой и существенно уступает литейным и сварочно-наплавочным технологиям ($\sigma = 80 \dots 120$ МПа, против 600 МПа).

Использование для ПН порошковых смесей, в частности многокомпонентных, требует предварительного их механического смешивания. В то же время известно, что механическое взаимодействие металлов сопровождается ростом потенциальной энергии кристаллической решётки вследствие её остаточной деформации, образованию вакансий, а в целом, к росту её поверхностной химической активности [5]. Кроме этого, под действием механического взаимодействия происходит разрушение окисной плёнки на поверхности металлов, которая ока-

зывает экранирующее действие при сплавлении компонентов, так как оксид имеет более высокую температуру плавления и прочность и/или химическую стойкость, чем сам металл. Например, это имеет место для Al и его оксида Al_2O_3 . Несомненно, это препятствует формированию новых металлических соединений при формировании покрытия. провоцирует появление дефектов в покрытии, снижающих его механические свойства и повышает пористость.

По нашему мнению, механическая активация при смешивании может способствовать росту химического взаимодействия порошковых компонентов при формировании покрытия наносимого ПН и, возможно, позволит создать покрытия, обладающие уникальными физико-механическими свойствами, близкими к ВЭС. В свою очередь, это будет способствовать широкому распространению ПН при упрочнении новых деталей и восстановлению изношенных за счёт относительно низкой себестоимости сырья и доступности технологии.

По данным источника [8], качество смешения характеризуется вероятностным распределением частиц компонента и его соотношением с другими компонентами в выбранном объёме смеси. Однако, время смешения варьируется от 40 минут до суток, при этом, оно определяется опытным путём с промежуточным контролем в процессе смешения [9], так как гранулометрический состав материала всегда различен. Это связано с технологиями получения металлических порошков. Время механической активации зависит от способа активации и традиционно составляет не более 90 минут [10-12].

На данный момент, способы механической активации порошков металлов, как отдельный процесс, в котором полностью или частично отсутствует измельчение, требуют апробирования и изучения. Поэтому целью нашей работы стало исследование влияния степени механической активации многокомпонентной смеси металлических порошков при ее перемешивании в предложенном нами смесителе. Контроль качества смешивания и активации осуществлялся по критерию прочности покрытия, полученного плазменным напылением при подаче порошковой смеси в инертной среде.

Научная гипотеза – повышение поверхностной химической активности мелкодисперсных порошковых компонентов механической активацией при их смешивании в инертной среде для последующего создания плазменных покрытий с заданными свойствами.

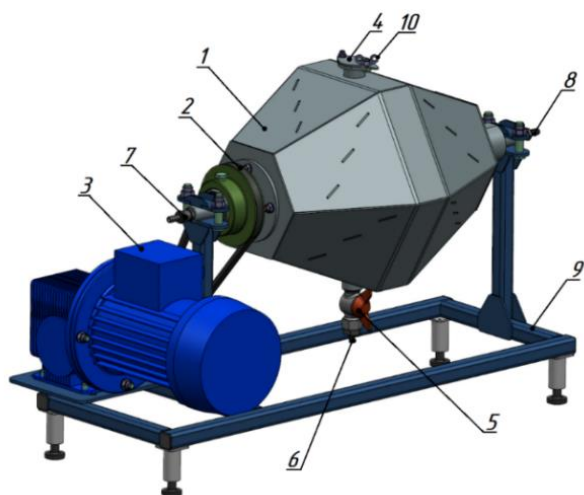
2 Материалы и методы

В источнике [5] описан механизм механической активации металлического порошка в мельницах и дробилках. Однако, степень помола частиц металла не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к гранулометрическому составу при плазменном напылении. При механической активации с одновременным измельчением в высокоэнергетических установках получаемые частицы имеют размер до 10 мкм в то время, как при напылении оптимальный размер частиц составляет 40-60 мкм, и фракция тонкого помола понижает коэффициент используемого материала за счёт чрезмерной передачи тепловой энергии и испарения.

Для сохранения гранулометрического состава порошковой смеси при ее механической активации предлагается использовать смеситель-активатор (рис. 1), конструкция которого описана в источнике [13].

Барабан смесителя оснащён отверстием для засыпания и высыпания порошковой смеси и её непрерывной подачи к плазмотрону. В барабане смесителя можно создавать замещающую атмосферу и избыточное давление путём прокачки и замещения воздуха инертным газом через неподвижные штуцера, расположенные на оси.

Внутри барабана размещены перфорированные пластины под углом, обеспечивающим подъём и перемещение порошка от основного объёма к краю. Такое расположение пластин обеспечивает глубокое перемешивание порошковых компонентов с их активным взаимодействием между собой, а также со стенками и пластинами, необходимым для активации поверхности частиц порошка, что, в свою очередь, влияет на качество соединения покрытия с основой при ПН.

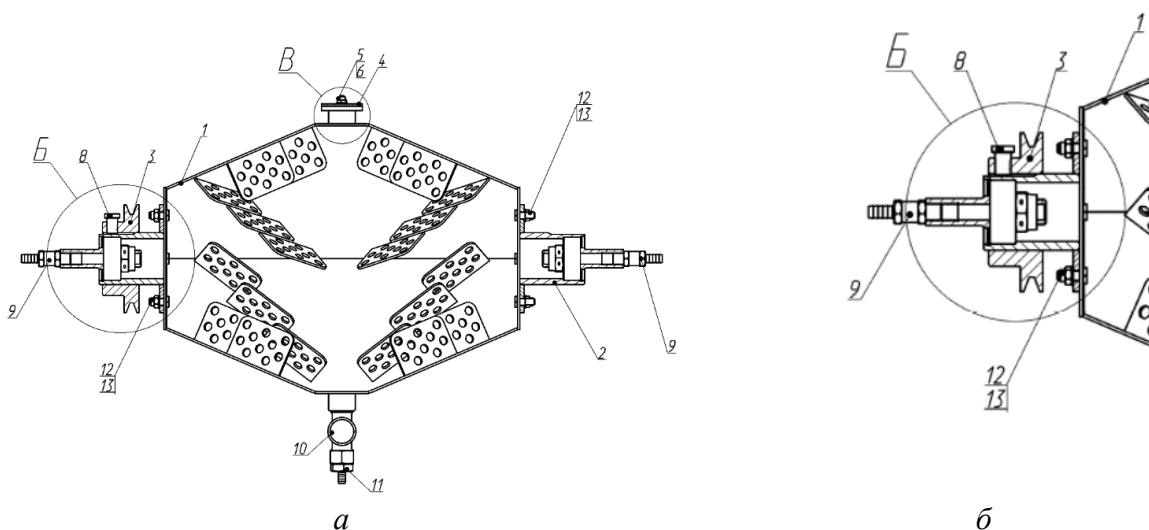


a

б

1 – смеситель; 2 – ремённая передача; 3 – привод смесителя (мотор-редуктор); 4 – засыпная горловина; 5 – шаровой кран; 6 – штуцер присоединения трубки подачи порошка к плазмотрону; 7 – штуцер с обратным клапаном ввода инертного газа; 8 – штуцер к клапану вывода газа; 9 – каркас смесителя-активатора; 10 – винт засыпной горловины

Рисунок 1 – Общий вид смесителя-активатора: *a* – эскиз; *б* – фото



a

б

1 – корпус барабан смесителя; 2 – корпус фланца; 3 – шкив; 4 – отверстие для засыпания; 5, 6 – винты затяжки крышки горловины; 8 – винт стопорный шкива; 9 – обратный клапан; 10 – шаровой кран; 11 – штуцер выхода на трубку подачи порошка к плазмотрону; 12, 13 – нормали; *a* – барабан смесителя (изнутри); *б* – узел подачи газа с обратным клапаном

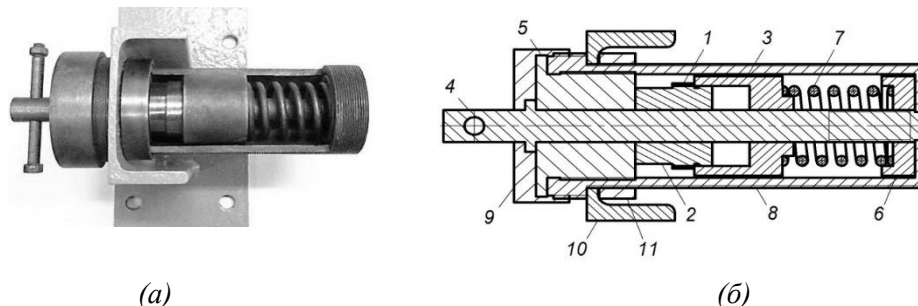
Рисунок 2 – Внутреннее устройство барабана

Для ПН был выбран состав из 7 компонентов порошка (FeCoCrAlTiCuMo) в эквимольном соотношении. Так как был запланирован однофакторный эксперимент, режимы смешивания, кроме параметра времени смешивания, были выбраны на постоянном уровне по массе порошка 500 гр. и скорости вращения образцов 60 мин^{-1} .

В процессе смешения-активации брались пробы порошка для визуального контроля качества смешения и состояния смеси с интервалом 10 минут, для чего на некоторое время останавливался барабан.

В качестве транспортирующего газа был использован аргон, состав напылялся на образцы из углеродистой стали 45 ГОСТ 1050-88 с предварительно нанесённым подслоем из порошка ПР-НХ17СР4 на который напыляли многокомпонентный состав.

Испытания покрытий на адгезионную прочность проводили с помощью оригинального устройства, предварительно протарированного (рис. 3).



1 – покрытие; 2 – пуансон; 3 – матрица; 4 – нагружающий винт; 5 – втулка;
6 – чашка; 7 – тарировочная пружина; 8 – корпус; 9 – крышка; 10 – державка;
11 – фиксирующее кольцо

Рисунок 3 – Устройство для определения адгезионной прочности покрытия на сдвиг: внешний вид (а) и конструктивная схема (б) устройства

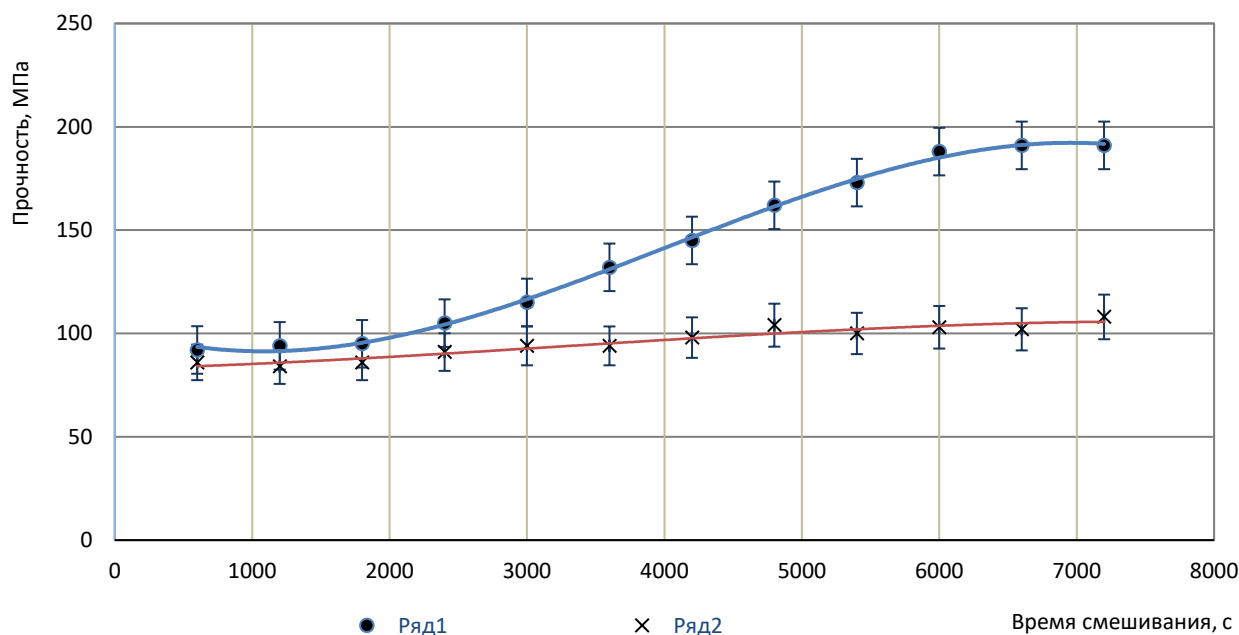
Последовательность подготовки и проведения смешивания порошка была следующей:

- предварительно просушенную в электропечи (1,5 ч) многокомпонентную смесь (FeCoCrAlTiCuMo) засыпали в смеситель и герметично закрывали засыпное отверстие;
- прокачивали аргон через барабан смесителя в течении 5 мин с низкой скоростью потока, периодически останавливая подачу газа и прокручивая барабан, для вытеснения воздуха из труднодоступных мест аргоном;
- создавали избыточное давление аргона, с целью компенсации потерь газа при проведении эксперимента. Качество вытеснения воздуха оценивали газоанализатором (Сигнал-4КМ ГОСТ Р 52350.29.2-2010) по концентрации кислорода;
- запускали вращение барабана с частотой 60 мин^{-1} в течение 10 мин (1 акт);
- по завершении первого акта смешивания, присоединяли к нижнему штуцеру барабана транспортирующую к плазмотрону магистраль и после поворота барабана на $90-120^\circ\text{C}$ проводили продувку магистрали аргоном из смесителя для подготовки к последующему ПН;
- осуществляли ПН на предварительно подготовленную поверхность образца (с нанесённым подслоем ПР-НХ17СР4) последовательно в 2 слоя многокомпонентное покрытие, используя в качестве транспортирующего газа аргон;
- по окончании ПН оплавливали напыленное покрытие плазменной струёй;
- после полного остывания испытывали покрытие на прочность (срез), используя оригинальное устройство, представленное на рис. 3.

3 Результаты исследований

В результате проведённых экспериментальных испытаний была получена зависимость (рис. 4), точки которой хорошо аппроксимировалась степенной функцией с доверительным интервалом от $\pm 11 \dots 12 \text{ МПа}$. Анализ зависимости показал, что заметное повышение прочности покрытия происходило после 2520 с (0,7 ч) смешивания (рис. 4), а после 5400 с (1,5 ч) значения прочности покрытия стабилизировались и дальнейшие испытания прекращались. Вероятно, такой результат свидетельствует об исчерпании потенциала механической актива-

ции порошковой смеси данного состава (FeCoCrAlTiCuMo) и его влияния на прочность соединения покрытия с основой при постоянных условиях смешения (частота вращения барабана 60 мин^{-1} ; масса загрузки 500 гр.).



«Ряд 1» – смешивание в инертной среде (активация); «Ряд 2» – смешивание в воздухе

Рисунок 4 – Зависимость прочности получаемого покрытия от времени смешивания компонентов

4 Обсуждение и заключение

Результаты однофакторного эксперимента показали, что прочность покрытия и его соединения с основой за счёт смешения металлических порошковых компонентов (FeCoCrAlTiCuMo) в оригинальной конструкции смесителя-активатора существенно возрастала в зависимости от времени смешивания. Так, в интервале $500 \dots 2500 \text{ с}$ заметного приращения прочности не наблюдалось, а с повышением продолжительности более 2700 с наблюдалось существенное увеличение прочности покрытия и его соединения с основой (почти двухкратное) с максимальным значением 180 МПа при смешивании более 6000 с ($1,67 \text{ ч}$). Увеличение продолжительности смешения не приводило к росту прочности.

Полученные результаты свидетельствуют о влиянии продолжительности смешения многокомпонентного порошкового состава на прочность покрытия, полученного ПН при подаче порошка под срез плазматрона и последующего его оплавления. Сравнительный анализ зависимостей, полученных при смешивании и подаче порошков традиционным способом, показал, что поверхностная механическая активация, вероятно, наступает только в инертной газовой атмосфере, где невозможно повторное восстановление окисной плёнки, вплоть до вхождения порошка в плазменную струю. Для проверки данных утверждений требуется проведение металло- и рентгенографических исследований, которые позволят выявить структурные изменения, возможные аномалии, а также появление новых фаз. Опыты показали, что немаловажное значение на эффект поверхностной активации могут оказывать такие факторы, как состав компонентов и режимы обработки (частота вращения и масса смеси), а также состав инертной атмосферы.

Список литературы

- 1 Кадырметов, А. М. Перспективы применения покрытий на основе многокомпонентных высокоэнтропийных сплавов в машиностроении / А. М. Кадырметов, Д. А. Попов, Е. В. Снятков // Силовая энергетика и электроника перспективных автомобилей: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 08 апреля 2021 года / Отв. редактор В.И. Прядкин. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2021. – С. 36-39. – DOI 10.34220/РЕЕРС2021_36-39.
- 2 Юров, В. М. К вопросу о трении высокоэнтропийных сплавов и покрытий / В. М. Юров, С. А. Гученко // Интерактивная наука. – 2019. – № 9(43). – С. 34-37. – DOI 10.21661/г-508093. – EDN CLFBZF.
- 3 Структура и свойства высокоэнтропийных сплавов и покрытий : Техническая программа и тезисы школы молодых ученых, Белгород, 09–11 октября 2019 года / Под редакцией Г.А. Салищева, М.С. Тихоновой, Е.А. Щиголовой. – Белгород: Общество с ограниченной ответственностью Эпицентр, 2019. – 72 с. – ISBN 978-5-6042972-3-0. – EDN WLBGYK.
- 4 Структура и свойства композиционного покрытия на основе высокоэнтропийного сплава, упрочненного частицами CrB / А. А. Руктуев, А. Б. Юргин, В. С. Шикалов [и др.] // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2023. – Т. 25, № 3. – С. 87-103. – DOI 10.17212/1994-6309-2023-25.3-87-103. – EDN HVCASS.
- 5 Широков, Ю. Г. Механохимия. Теоретические основы – 2015. – 224 с.
- 6 Кадырметов, А. М. Рентгеноструктурный анализ многокомпонентного сплава FeCoCrAlTiCuMo, полученного плазменным напылением с кратным оплавлением / А. М. Кадырметов, Д. А. Попов, И. А. Симакин // Электрофизические методы обработки в современной промышленности : Материалы V Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Пермь, 15–16 декабря 2021 года. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2022. – С. 104-107. – EDN NOZCVU.
- 7 Обоснование конструкции и параметров специального плазматрона для напыления многокомпонентных покрытий / А. М. Кадырметов, Д. А. Попов, А. И. Усков, В. Р. Фатхулин // Современные технологии производства в машиностроении: МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ. Том Выпуск 16. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2023. – С. 117-126. – EDN RZLNCHD.
- 8 Анализ закономерностей и определение аналитических зависимостей для вычисления необходимых параметров протекания процессов механического измельчения и смешивания сыпучих материалов / А. Ф. Ильющенко, А. И. Лецко, Н. М. Парницкий [и др.] // Порошковая металлургия : Республиканский межведомственный сборник научных трудов / НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ; ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ, ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ИНСТИТУТ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ИМЕНИ АКАДЕМИКА О. В. РОМАНА». Том Выпуск 45. – Минск: Республиканское унитарное предприятие "Издательский дом "Белорусская наука", 2022. – С. 35-43. – EDN EDDZMH.
- 9 Захаров, Д. А, Сальников, А. В. Влияние режимов смешивания порошков на структуру и физико-механические свойства твердого сплава vk10s // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2013. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-rezhimov-smeshivaniya-poroshkov-na-strukturu-i-fiziko-mehaniicheskie-svoystva-tverdogo-splava-vk10s> (дата обращения: 17.09.2024).
- 10 Шевцова, Л. И. Определение времени механической активации, обеспечивающее формирование однородной структуры сплава ВКНА-1В / Л. И. Шевцова // Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации. – 2022. – Т. 1. – С. 264-265. – EDN ТВЮМТ.
- 11 Кочетов, Н. А. Влияние времени механической активации смеси Ti + 2B на горение цилиндрических и ленточных образцов / Н. А. Кочетов, С. Г. Вадченко // Физика горения и взрыва. – 2015. – Т. 51, № 4. – С. 77-81. – DOI 10.15372/FGV_20150410. – EDN UHCLAJ.
- 12 Абдульменова, Е. В. Закономерности изменения структуры после механической активации порошкового TiNi и его взаимодействие с водородом / Е. В. Абдульменова, С. Н. Кульков // Известия вузов. Физика. – 2019. – Т. 62, № 8(740). – С. 137-142. – DOI 10.17223/00213411/62/8/137. – EDN YYLJNH.
- 13 Влияние механической активации порошка на пористость плазменного покрытия / А. М. Кадырметов, Д. А. Попов, А. И. Усков, А. А. Мельников // Современные технологии производства в машиностроении : Межвузовский сборник научных трудов. – Воронеж : Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2024. – С. 61-65.

References

- 1 Kadyrmetov, A. M. Prospects for the Application of Coatings Based on Multicomponent High-Entropy Alloys in Mechanical Engineering / A. M. Kadyrmetov, D. A. Popov, E. V. Snyatkov // Power Engineering and Electronics of Advanced Cars: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Voronezh, April 08, 2021 / Responsible. editor V. I. Pryadkin. - Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov, 2021. - P. 36-39. - DOI 10.34220/PEEPC2021_36-39. - EDN EMFFGN.
- 2 Yurov, V. M. On the Issue of Friction of High-Entropy Alloys and Coatings / V. M. Yurov, S. A. Guchenko // Interactive Science. – 2019. – No. 9(43). – P. 34-37. – DOI 10.21661/r-508093. – EDN CLFBZF.
- 3 Structure and properties of high-entropy alloys and coatings: Technical program and theses of the school of young scientists, Belgorod, October 9–11, 2019 / Edited by G.A. Salishchev, M.S. Tikhonova, E.A. Shchigoleva. – Belgorod: Limited Liability Company Epicenter, 2019. – 72 p. – ISBN 978-5-6042972-3-0. – EDN WLBGYK.
- 4 Structure and properties of composite coating based on high-entropy alloy reinforced with CrB particles / A. A. Ruktuev, A. B. Yurgin, V. S. Shikalov [et al.] // Metal processing (technology, equipment, tools). - 2023. - Vol. 25, No. 3. - Pp. 87-103. - DOI 10.17212/1994-6309-2023-25.3-87-103. - EDN HVCASS.
- 5 Shirokov, Yu. G. Mechanochemistry. Theoretical foundations - 2015. - 224 p.
- 6 Kadyrmetov, A. M. X-ray diffraction analysis of the multicomponent FeCoCrAlTiCuMo alloy obtained by plasma spraying with multiple reflow / A. M. Kadyrmetov, D. A. Popov, I. A. Simakin // Electrophysical methods of processing in modern industry: Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students, Perm, December 15-16, 2021. - Perm: Perm National Research Polytechnic University, 2022. - P. 104-107. - EDN NOZCVU.
- 7 Justification of the design and parameters of a special plasma torch for spraying multicomponent coatings / A. M. Kadyrmetov, D. A. Popov, A. I. Uskov, V. R. Fatkhulin // Modern production technologies in mechanical engineering: INTER-UNIVERSITY COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS. Volume Issue 16. - Voronezh: Publishing and Printing Center "Scientific Book", 2023. - P. 117-126. - EDN RZNCHD.
- 8 Analysis of regularities and determination of analytical dependencies for calculating the necessary parameters of the processes of mechanical grinding and mixing of bulk materials / A. F. Ilyushchenko, A. I. Letsko, N. M. Parnitsky [et al.] // Powder metallurgy: Republican interdepartmental collection of scientific papers / NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS; STATE RESEARCH AND PRODUCTION ASSOCIATION OF POWDER METALLURGY, STATE SCIENTIFIC INSTITUTION "INSTITUTE OF POWDER METALLURGY NAMED AFTER ACADEMICIAN O. V. ROMAN". Volume Issue 45. – Minsk: Republican Unitary Enterprise "Publishing House" Belarusian Science ", 2022. – Pp. 35-43. – EDN EDDZMH.
- 9 Zakharov, D. A., Salnikov, A. V. Influence of powder mixing modes on the structure and physical and mechanical properties of VK10S hard alloy // Bulletin of the Samara State Technical University. Series: Technical sciences. 2013. No. 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-rezhimov-smeshivaniya-poroshkov-na-strukturu-i-fiziko-mekhanicheskie-svoystva-tverdogo-splava-vk10s> (date of access: 17.09.2024).
- 10 Shevtsova, L. I. Determination of the mechanical activation time, ensuring the formation of a homogeneous structure of the VKNA-1V alloy / L. I. Shevtsova // Aerospace engineering, high technologies and innovations. - 2022. - Vol. 1. - Pp. 264-265. - EDN TBIOMT.
- 11 Kochetov, N. A. Effect of mechanical activation time of the Ti + 2B mixture on the combustion of cylindrical and tape samples / N. A. Kochetov, S. G. Vadchenko // Physics of combustion and explosion. - 2015. - Vol. 51, No. 4. - Pp. 77-81. - DOI 10.15372/FGV20150410. - EDN UHCLAJ.
- 12 Abdulmenova, E. V. Regularities of structural changes after mechanical activation of powder TiNi and its interaction with hydrogen / E. V. Abdulmenova, S. N. Kulkov // News of universities. Physics. - 2019. - Vol. 62, No. 8 (740). - Pp. 137-142. - DOI 10.17223 / 00213411 / 62/8/137. - EDN YYLJNH.
- 13 Influence of mechanical activation of powder on the porosity of plasma coating / A. M. Kadyrmetov, D. A. Popov, A. I. Uskov, A. A. Melnikov // Modern production technologies in mechanical engineering: Inter-university collection of scientific papers. – Voronezh: Publishing and Printing Center "Scientific Book", 2024. – P. 61-65. – EDN EEQKRJ.

© Попов Д. А., Кадырметов А. М., Усков А. И.,
Попов С. А., Мандрыкин И. А., Попов П. Н., 2024



УДК 656.13

UDC 656.13

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ОТРАЖАЮЩИХ ПОВЕДЕНИЕ ВОДИТЕЛЕЙ В СЛОЖНОЙ ДОРОЖНОЙ ОБСТАНОВКЕ

ANALYSIS OF FACTORS REFLECTING DRIVERS' BEHAVIOR IN DIFFICULT ROAD CONDITIONS

✉¹ **Зеликов Владимир Анатольевич**
д.т.н., доцент, заведующий кафедрой организации перевозок и безопасности движения, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, e-mail: zelikov-vrn@mail.ru

✉¹ **Zelikov Vladimir Anatolyevich**,
doctor of technical sciences, associate professor, head of the department of transportation organization and traffic safety, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: zelikov-vrn@mail.ru

Струков Юрий Вячеславович,
к.т.н., доцент, доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Strukov Yuri Vyacheslavovich,
candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of transportation organization and traffic safety, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

Климова Галина Николаевна,
к.т.н., доцент, доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Klimova Galina Nikolaevna,
candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of transportation organization and traffic safety, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

Денисов Геннадий Александрович,
к.т.н., доцент, доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Denisov Gennady Alexandrovich,
candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of transportation organization and traffic safety, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

Внукова Светлана Владимировна,
к.ф.-м.н., доцент кафедры общей и прикладной физики, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Vnukova Svetlana Vladimirovna,
candidate of physical and mathematical Sciences, associate professor, department of general and applied physics, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

Черников Эдуард Анатольевич,
к.т.н., доцент кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Chernikov Eduard Anatolievich,
candidate of technical sciences, associate professor of the department of industrial transport, construction and geodesy, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

Разгоняева Вера Викторовна,

доцент, к.э.н., Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Razgonyaeva Vera Viktorovna,

associate professor, candidate of economic sciences, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

Аннотация. Рассматривается вопрос о взаимодействии факторов, отражающих особенности поведения водителя в дорожной обстановке.

Annotation. The issue of the interaction of factors reflecting the characteristics of driver behavior in a road situation is considered.

Ключевые слова: ОСОБЕННОСТЬ ПОВЕДЕНИЯ ВОДИТЕЛЕЙ, ОПАСНЫЙ СТИЛЬ УПРАВЛЕНИЯ, ДЕТЕРМИНИРУЮЩИЕ ПРИЧИНЫ, ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИЧНОСТИ, СТРУКТУРИРОВАННАЯ СИСТЕМА, ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ВАЖНЫЕ КАЧЕСТВА ВОДИТЕЛЯ.

Keywords: PECULIARITIES OF DRIVERS' BEHAVIOR, DANGEROUS DRIVING STYLE, DETERMINATING CAUSES, PSYCHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF PERSONALITY, STRUCTURED SYSTEM, PROFESSIONALLY IMPORTANT QUALITIES OF A DRIVER.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

В большинстве случаев создание аварийных дорожно-транспортных ситуаций (ДТС) зависит от «человеческого фактора» или от надежности водителя. Доля вины водителя в совершении дорожно-транспортных происшествий (ДТП) за последнее десятилетие составляет 90 % и более [1-3]. Повышение надежности водителя является актуальной задачей для специалистов в области не только транспортной психологии, но и в любой иной системе «человек-машина», где рассматривается процесс деятельности оператора (водителя) [4-6].

На деятельность водителя влияют как объективные, так и субъективные факторы, от которых зависит поведение водителя при управлении автомобилем [7-10].

Отсутствие системности в изучении факторов, влияющих на поведение водителей, доказывает то, что в системе «водитель – автомобиль – дорога – среда» (ВАДС), самое несовершенное, непрогнозируемое и мало изученное «звено» – водитель. Изучение взаимодействия факторов, влияющих на «проблемное поведение» отдельных водителей, трудная задача, но перспективная с точки зрения снижения тяжести последствий от ДТП и исследования в ином аспекте проблемы повышения безопасности дорожного движения (БДД).

Поиск методов исследования, позволяющих установить закономерности между поведением водителей, у которых проявляются необоснованные действия в дорожной ситуации, такие как, склонность к риску, лихачеству, или неуверенность в себе, объясняются их индивидуальными психофизиологическими, личными характеристиками, ценностными ориентациями, определяющими поведение личности. Вследствие этого подбор методов и исследование показателей, влияющих на поведение водителей, нужно рассматривать как приоритетное направление для обеспечения БДД, поскольку, управляя автомобилем, водитель сознательно принимает решение по управляющим действиям исходя из восприятия и анализа дорожной ситуации. Решения индивидуальны для каждого водителя, но существует свод Правил дорожного движения и «этические нормы поведения», которые направлены на обеспечение безопасности человеческой жизни.

Анализ взаимодействия факторов, отражающих поведение водителей в сложной дорожной обстановке и их роль в комплексе мероприятий по повышению БДД, является важной составляющей государственной программы повышения надежности водителя. Поиск решений

по вопросу безопасности на дорогах – это, прежде всего, осуществление комплекса мероприятий с учетом правовых, экономических, технических и других нормативных баз. Эти мероприятия активно инвестируются государством и разрабатываются программы о повышении БДД начиная с 1996 года, что позволяет улучшить качественное состояние дорог, повысить комфортность автомобилей. При всей значимости указанных мероприятий, направленных на исследование особенностей поведения водителя в дорожной обстановке, их поддержка государством осуществлялась по остаточному принципу.

Считаем, что для сокращения аварийности рациональным и результативным решением является исследование социально-психологических факторов в поведении водителя, побуждающих или препятствующих нарушениям в выполнении правил дорожного движения (ПДД). Так как стиль поведения является той моделью, которая доступна наблюдению, описанию и прогнозированию, поскольку любой человек имеет индивидуальный стиль поведения, то его индивидуальность проецируется и на стиль управления автомобилем.

Необходимо учесть, что на принятие решения по управляющим действиям оказывают влияние конкретно сложившиеся дорожные обстоятельства, т. е. это может быть, например:

- высокая степень интенсивности движения;
- непосредственно состояние здоровья водителя (здоров, болен);
- настроение водителя (оптимистичное, унылое);
- уровень работоспособности водителя (высокий, низкий);
- состояние высшей нервной системы водителя.

2 Материалы и методы

Чтобы разобраться в причинах, детерминирующих опасный стиль управления транспортным средством (ТС), мы, используя статистические методы анализа показателей ДТП по вине водителей, попытались разделить факторы на две группы. В первую группу вошли факторы, независимые от водителя, но побуждающие к нарушению ПДД, как возможно единственный безопасный выход в создавшейся ситуации на дороге. Во вторую группу входят факторы, непосредственно зависящие от людей: социально-психологические факторы и индивидуально-психофизиологические особенности водителя.

Рассмотрим факторы, непосредственно зависящие от людей, в частности, индивидуально-психофизиологические особенности водителя, которые характеризуют его как личность в совокупности психологических, физиологических и эмоциональных качеств и оказывают влияние на стиль вождения.

Психологические особенности личности, способствующие безопасному вождению:

- ценностные ориентации личности;
- дисциплинированность (социальная нормативность), самоконтроль (волевая регуляция) и ответственность.

Психологические особенности личности, способствующие или потенцирующие опасное вождение:

- агрессивность, предрасположенность к риску, стремление к самоутверждению;
- тревожность, самонадеянность, активность (энергичность);
- противоречивость, двойственность, влияющая на принятие решений при управлении ТС.

Стилевые характеристики вождения связаны с ведущими ценностями водителей. Это утверждение имеет особую «остроту» в настоящее время.

Меры по привитию или воспитанию жизненных ценностей у участников дорожного движения отстают от развития уровня автомобилизации.

Ценностные ориентации личности – это направление в развитие внутреннего гармоничного мира, восприятие и оценка реальности окружающей действительности. Ценностные

ориентации служат главным критерием о дозволенности или непозволительности определенных поступков, стиля поведения, являются регулятором собственного поведения, контролем сознательных действий при управлении автомобилем.

Пример, когда случается авария на дороге. В этой ситуации не каждый водитель проезжает мимо. Большинство тормозят с целью помочь, потому что для многих это норма поведения. Усвоенные нормы поведения по отношению к участникам дорожного движения особенно важны для безопасного движения.

Вежливость, тактичность, уступчивость, дисциплинированность и многие другие качества составляют идеальное представление о социализации общества и к этому надо стремиться. Методом убеждения является подход через влияние информационных программ, фильмов, рекламы по телевидению и других видов информации, которые формируют ценностные ориентиры и соответственно стиль поведения, отношение к своим действиям и поступкам. Это способствует формированию мотивированных потребностей и установок на определенный стиль вождения.

Ценностные ориентации оказывают активное влияние на формирование личности, на образ его мышления, поведения и соответственно на жизненные принципы, на принимаемые решения. Ценностные ориентации выстраиваются в иерархическом порядке от личных целей до общественных. При этом общественные ценности могут как совпадать по значимости для конкретной личности, так и не совпадать с личностными ценностями. Например, общественная безопасность на дорогах важна для государства в целом и лично для каждого участника вождения. К ценностным ориентациям, которые должны воспитываться для достижения целей БДД, относятся прежде всего нормы поведения, основанные на взаимоуважении всех участников дорожного движения и на воспитании транспортной культуры исходя из понимания ценности, как знания общественных идеалов.

В подходе метода убеждений мотивация поступков в условиях дорожной среды будет иметь постоянный акцент внимания на принимаемые решения с точки зрения знаний общественных идеалов, имеющих этическую норму – жизнь человека бесценна.

В Национальном стандарте Российской Федерации ГОСТ Р 58782-2019 (утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25.12.2019 N 1474-ст) в пункте 6 «Основные параметры и критерии оценки качества вождения» перечислены показатели оценки качества вождения и установлены значения, характеризующие безопасный стиль вождения. К ним относятся: отклонения от установленной безопасной скорости ПДД, резкое ускорение, торможение, маневрирование (поворот), агрессивное вождение, внимательность и дополнительный параметр [11-15].

Качества личности проецируются на поведения водителя при управлении автомобилем. Влияние ценностных ориентаций отражаются на формировании взглядов, мировоззрении и на поведении человека в быту, в деятельности. Успешность или неуспешность вождения зависит не только от профессиональной пригодности и профессиональной подготовленности, но и от индивидуальных ценностей личности.

Для определения комплексной оценки профессионализма водителя на нынешнем этапе отсутствует единая структурируемая система. Предлагаем разработку варианта требований.

Структурированные требования, предъявляемые к успешной водительской деятельности, представлены на рис. 1.

Успешная деятельность водителя предполагает:

- знание ПДД и освоение технических приёмов по управлению ТС;
- нормальное протекание психологических процессов, таких как внимание, ощущение, восприятие, мышление и т.д.;
- физическое и психическое здоровье;
- возрастное нормативное развитие индивидуальной эмоциональной стабильности;
- коммуникативность и компетентность.

Соответственно «неуспешная деятельность» предполагает неосвоенность знаний и навыков, заторможенное протекание психологических процессов, нездоровое самочувствие, эмоциональную нестабильность с учетом возрастных изменений.

Развитие коммуникативной компетенции находится в тесной взаимосвязи с возрастным нормативным развитием и определяет дорожное поведение, активно влияет на манеру поведения при вождении автомобиля. Типологию поведения водителей можно определить по их манере вождения.

Индивидуально-личностные качества отражаются в манере поведения и в стиле вождения автомобилем. Индивидуально-личностные качества разделяются по возрастным группам, по принадлежности к полу (мужчины / женщины). Обзор и анализ статистических данных о количестве совершаемых аварий мужчинами и женщинами и распределение виновников по возрастным группам подтверждает обоснованность выводов о влиянии на манеры поведения за рулём индивидуально-личных качеств (рис. 2) [16].



Рисунок 1 – Структурированная система соответствия водителя профессиональным требованиям

Личные особенности влияют на отношение к своим поступкам и оценке своего поведения за рулём. Безусловно, любой водитель стремится к безопасному управлению, но между представлением о своих способностях и реальным их подтверждением из-за завышенной или заниженной самооценки профессиональных способностей существует разница в поведении за рулём.

Исследование ведущих ценностей личности, мотивации поступков, а также изучение обстоятельств, способствующих или препятствующих безопасности дорожного движения с учётом возраста и пола, находится в интересах надёжного функционирования системы БДД. Одним из направлений теоретического подхода к решению проблемы безопасного поведения водителей является психологическая подготовка. На уровне автошколы это требует реформи-

рования существующей программы подготовки в отношении психологического отбора, обучения взаимодействию с другими участниками дорожного движения на этапах подготовки курсантов в автошколе и проведения последующих тренингов психологических интервенций (вмешательств), направленных на предотвращение аварий и ДТП.

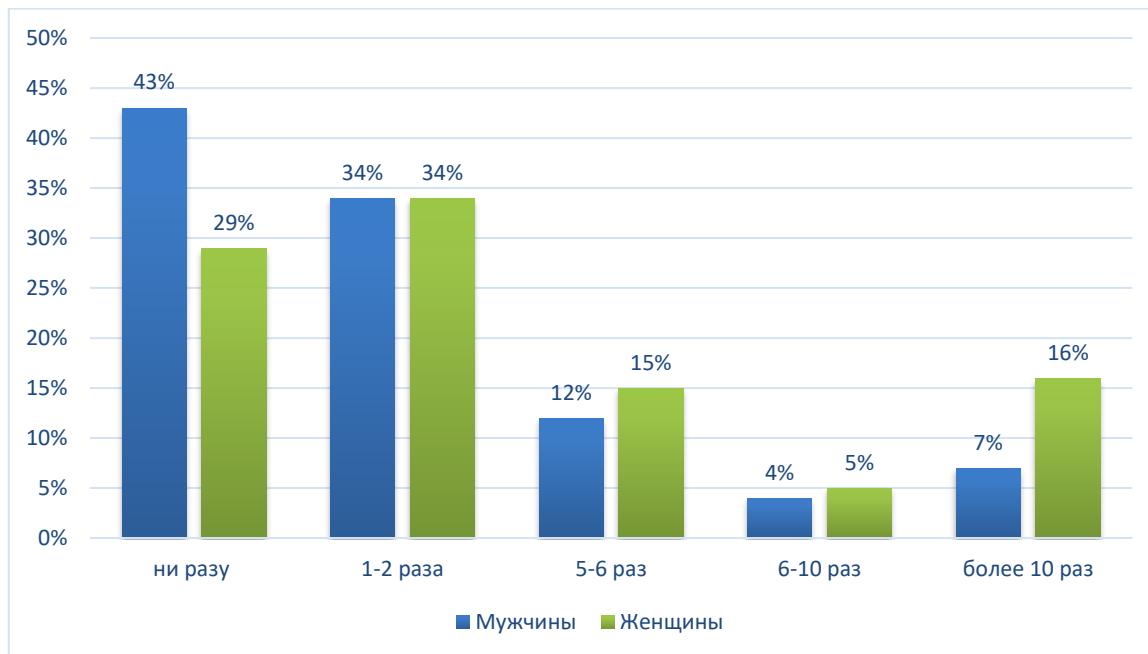


Рисунок 2 – Частота нарушений ПДД женщинами и мужчинами за 9 месяцев 2023 г. в Российской Федерации [16]

Каждый водитель обладает индивидуальной системой приёмов и действий, а также системой знаний, образов и понятий, позволяющих ему в большинстве случаев правильно оценивать ситуацию, своевременно принимать и реализовывать необходимые решения. Реализация накопленных в водительском опыте знаний, умений и навыков в преломлении индивидуальных личностных качеств человека составляет то, что обычно называют «индивидуальным стилем» управления.

По мнению психологов, управление автомобилем необходимо рассматривать как поведение человека, связанное с риском. Риск – это не просто реакция на те или иные особенности дорожной обстановки, но и на то, насколько водитель считает эту обстановку опасной. Если обстановка, по его мнению, не опасна, он может увеличить скорость движения или начать выполнять сложный манёвр, например, обгон и таким образом повысить опасность конкретной ситуации.

Речь идёт о признаках водительского поведения, объективность которых могла бы вызывать сомнения. Таким образом, в водительском поведении удалось бы найти важные признаки существования взаимосвязи между разными психологическими установками и поведением водителей в зависимости от ценностных ориентаций. Правда, вопрос о направленности такой взаимосвязи или причинной обоснованности не настолько однозначен. Вполне возможно, что выявленные в результате тестирования психологические установки являются не только условиями и формами поведения в скоростном режиме, не только стремлением к «эмоциональному» вождению. Вербальные оценки опрошенных об установках являются их субъективной интерпретацией со всеми возможными при ответах искажениями. Восприятие мира через призму собственных взглядов, соответствующих собственным убеждениям, не всегда соответствует истине или реальности происходящих событий. Именно мировоззрение личности оказывает влияние на принятие решения.

Изучение источников литературы по вопросам психологии поведения участников дорожного движения даёт возможность сделать вывод, что ведущей характеристикой поведения кандидатов в водители является эмоциональность поведения. Тип темперамента, оказывает наиболее активное влияние на манеру поведения и проецируется естественно на стиль управления транспортным средством.

Используемые методики

Исследование ценностей, таких как личные идеалы, присутствующие в мотивационной структуре и побуждающие к конкретным действиям в своей жизни, осуществлялось по методике М. Рокича «Исследование ценностных ориентаций» [16]. М. Рокич различает два класса ценностей – терминальные и инструментальные. Терминальные ценности – это убеждения человека в том, что существует какая-то конечная цель индивидуального существования, которая с личной и общественной точек зрения стоит того, чтобы к ней стремиться.

Для диагностики психологических и морально-нравственных ценностей участников эксперимента использовались тестовые методики: «Оценка личности» немецкого психолога Х. Зиверта; «Психологический портрет личности» английского психолога Г. Ю. Айзенка; «Расчет времени реакции» американского психолога И. Блока. [17, 18].

3 Результаты исследований

Для исследований были привлечены (табл. 1 и 2):

- студенты – 81 человек;

- кандидаты в водители, обучающиеся в автошколе – 36 человек.

Основная возрастная группа участников эксперимента – от 22 до 25 лет.

Стаж управления в основном от 1 до 3 лет.

Таблица 1 – Распределение испытуемых по стажу вождения

	Студенты (очное отделение)			Студенты (заочное отделение)			Обучающиеся в автошколе	Всего
	0 лет	1-2 года	3-4 года	0 лет	1-3 года	4-6 года	0 лет	
Юноши	1	4	17	–	–	25	21	68
Девушки	2	8	4	–	–	20	15	49
Всего	3	12	21	–	–	45	36	117

Таблица 2 – Распределение испытуемых по возрасту

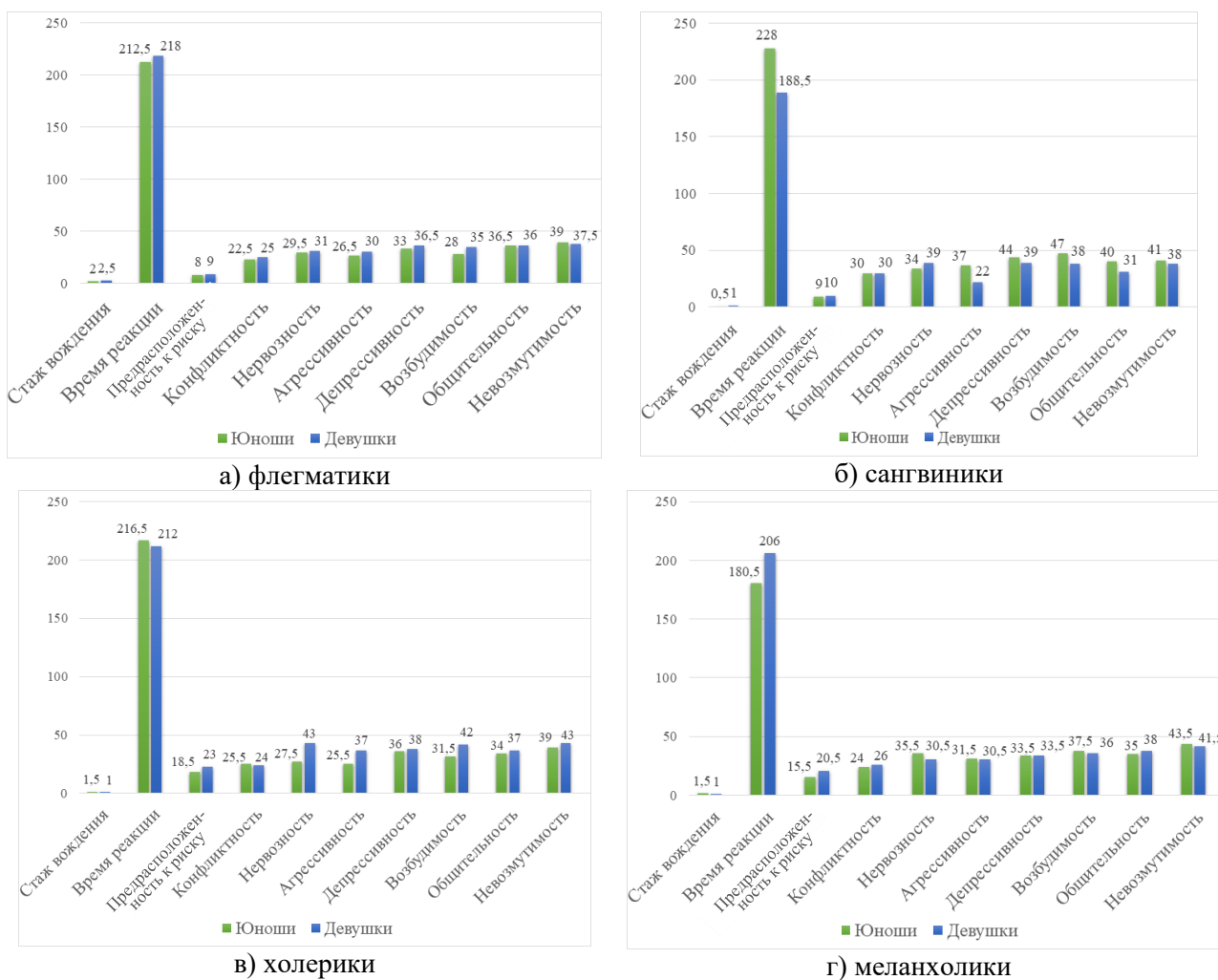
	Студенты (очное отделение)	Студенты (заочное отделение)		Обучающиеся в автошколе		Всего
	22-24 гг.	22-25 гг.	25-30 гг.	18-24 гг.	более 24 гг.	
Юноши	19	23	8	15	3	68
Девушки	17	12	2	13	5	49
Всего	36	35	10	28	8	117

Используя методику М. Рокича «Ценностные ориентации», основанную на прямом ранжировании списка ценностей, мы провели сравнение терминальных ценностей среди участников выборки (табл. 1, 2). Полученные результаты исследований показали, что в основном юноши заинтересованы в развитии своей личности, для достижения финансового благополучия и чувства собственного достоинства. Девушки более социально адаптированы, в своих ответах у них благополучие близких людей стоит на первом месте (рис. 3) [16].

Результаты исследований, полученных нами по выборке согласно табл. 1, 2, приведены на рис. 4. Это даёт возможность сравнить общие характеристики одной половины человечества с другой – юношей и девушек, и что очень важно, показать взаимосвязь темперамента и личных качеств.

	Терминальные ценности	Значимость	Инструментальные ценности
Юноши	финансовое благополучие	1 место	ум, интеллект
	достижения	2 место	ответственность
	чувство собственного достоинства	3 место	самостоятельность
Девушки	счастье, благополучие семьи	1 место	способность любить
	интересная жизнь	2 место	широкий кругозор
	внутренняя гармония	3 место	ум, интеллект

Рисунок 3 – Сравнительный анализ приоритетных ценностей среди юношей и девушек по выборке табл. 1, 2



а – флегматики; б – сангвиники; в – холерики; г – меланхолики

Рисунок 4 – Сравнительный анализ показателей психологических и личных качеств для различных типов темпераментов (флегматиков, сангвиников, холериков, меланхоликов)

Полученные нами результаты обследования по выборке согласно табл. 1, 2 позволяют установить тот факт, что в большей степени активно влияет на манеру поведения в дорожной обстановке тип темперамента, характеризующий состояние нервной системы (уровневенность, гибкость, силу). Это подтверждает выдвинутую гипотезу в начале нашей работы.

Результаты обследования участников выборки табл. 1, 2 показали:

1. Самая быстрая реакция в пределах 112-249 сек. наблюдается у юношей с типом темперамента сангвиник, то же самое отмечается у девушек сангвиников, если судить по нижней планке 120 сек. Реакция у юношей меланхоликов самая замедленная в сравнении с другими типами темперамента – 166-190 сек.

2. Предрасположенность к риску выше нормы в наибольшей степени свойственна, в основном, обучающимся с холеричным типом темперамента.

3. Свойство личности как склонность к деструктивным конфликтам является самой неразумной чертой в общении. Склонностью к ней и конфликтностью отличаются девушки с темпераментом сангвиника и юноши с холеричным темпераментом.

4. Психоматические расстройства наблюдаются в основном у девушек. Агрессивность у юношей выше, чем у девушек, но самые агрессивные юноши сангвиники.

5. Перепады настроения (расстроенность, депрессивность) особенно свойственны юношам и девушкам холерикам и меланхоликам. Разочарование и возбудимость свойственны также холерикам и меланхоликам.

6. Коммуникабельностью, общительностью и уверенностью в себе обладают сангвиники, как юноши, так и девушки.

4 Обсуждение и заключение

Работа по обследованию психологических и личных качеств имеет важное значение для диагностики кандидатов в водители и разработки программ информационного и воспитательного характера с целью коррекции стиля вождения и повышения культуры дорожного движения.

Исследование, проведенное нами, показывает прежде всего, что использовалась достоверная база исходных данных для анализа и выводов по группе исследуемых и по каждому обучающемуся в отдельности по выборке табл. 1, 2. Также определилась необходимость усовершенствовать эксперимент путём увеличения объёма выборки для обеспечения высокой достоверности результатов. Но выполненная работа даёт возможность планировать дальнейшие эксперименты более эффективно и точнее в отношении отдельных качеств, характеризующих поведение, и которыми должен обладать водитель в дорожной обстановке.

На принятие решений водителем также оказывает влияние чувство самосохранения как целостной системы работы над собой, которая требует соответствующих знаний, умений, квалификации, способностей и даже таланта. Работа по самосохранению исходит из той модели профессионала и того образа личности в профессии, которые человек осознанно или неосознанно принимает для себя. Каждому человеку совершенно необходимо и вполне реально построить собственную индивидуальную программу профессионального развития и самосохранения, стремясь постоянно приближаться к решению поставленных задач в разной степени и в зависимости от зрелости своей личности. Результатом и показателем эффективности программы самосохранения являются физическое, а также профессиональное творческое долголетие человека.

Например, чувство самосохранения в большей степени развито среди девушек с опытом управления свыше 3 лет, и соответственно более низкие показатели у юношей, стаж которых более 3 лет.

Разработка единой системы оценки профессионально-важных качеств водителя и единой комплексной оценки качества вождения водителя помогли бы определить уровень надёжности водителя и дать возможность прогнозировать деятельность водителя с точки зрения его личной безопасности, а также коллективного участия в дорожном движении.

Для повышения качества подготовки водителей в автошколах предлагается в обязательном порядке проводить диагностирование психофизиологические и морально-нравственные качества обучающихся (профотбор). Часы для проведения профотбора, рекомендуем включить в учебный план дисциплины «Психологические основы деятельности водителя».

Эффективность любой создаваемой системы состоит в её безотказности и безошибочности результата. В настоящее время мероприятия в отношении кандидатов в водители, а именно диагностика профессиональных психологических и личностных качеств, проводится очень формально, либо совсем не проводится. Этот факт повсеместный и, к сожалению, обобщенного результата не даёт в отношении того, насколько эффективен профотбор (профподбор). Для решения рассмотренной проблемы создан инструментарий в помощь – аппаратно-психологические комплексы. Время, затраченное на диагностику, оправдывается возможностью провести беседы с кандидатами в водители, предупредить каждого о необходимости тренировки отдельных психологических качеств и указать на отрицательные личностные характеристики тестируемого с последующим проведением тренинга.

Решение проблем на дорогах, агрессия, склонность к бездумному риску, напряженность, конфликтность, невнимательность, чрезмерная эмоциональная возбудимость особенно актуально для российского общества. Проведённый анализ проблем показывает, что требуется более глубокое изучение психологических аспектов поведения водителей на дороге, необходимое для совершенствования аппаратно-психологического комплекса как инструментария рассмотренных проблем на дорогах

Проектирование станочных приспособлений является важным этапом в создании эффективной технологической оснастки для обработки деталей на станках и представляет из себя довольно сложный процесс, который требует внимательного анализа требований, технической экспертизы и использования современных инструментов проектирования.

Создание библиотеки ЦД станочного оборудования позволит сократить сроки технологической подготовки производства в процессе проектирования технологической оснастки и других СТО за счет использования в качестве опорной геометрии рабочей зоны и использовать «слепые зоны» для оптимизации конструкции приспособления. Следующим этапом развития ЦД в их использовании при проектировании средств технологического оснащения может стать применение генеративного дизайна.

Список литературы

1 Зеликов, В. А. Анализ взаимосвязи психологического состояния водителей с безопасностью дорожного движения [Текст] / В.А. Зеликов, Г.Н. Климова, Г.А. Денисов, Ю.В. Струков // Грузовик. – 2021. – № 5. – С. 37-41.

2 Шаталов, Е. В. Оценка влияния психологических установок водителя на обеспечение безопасности участников дорожного движения [Текст] / Е.В. Шаталов, Г.Н. Климова, Н.В. Зеликова, Ю. В. Струков, Э.А. Черников, В.А. Зеликов // Грузовик. – 2021. – № 8. – С. 44-48.

3 Климова, Г.Н. Влияние психологического состояния водителей на безопасность дорожного движения [Текст] / Г.Н. Климова, В.А. Зеликов, М.Н. Казачек, А.А. Скрыпников // В сборнике: Образование. Транспорт. Инновации. Строительство. Сборник материалов III Национальной научно-практической конференции. – 2020. – С. 309-314.

4 Буйленко, В. Я Исследование субъективных факторов, влияющих на работоспособность водителя [Текст] / В.Я. Буйленко, Г.Н. Климова, В.А. Зеликов, Ю.В. Струков, А.Ю. Артемов // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2020. – № 4 (94). – С. 33-36.

5 Климова, Г.Н. Математическое обоснование применения средств управления для повышения безопасности движения [Текст] / Г.Н. Климова, В.А. Зеликов, Ю.В. Струков, Г.А. Денисов, Е.А. Махлакова, Э.Н. Бусарин // Грузовик. – 2020. – № 10. – С. 27-31.

6 Advanced Protection for Your Embedded System 2021 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.maximintegrated.com>

7 Инновационная деятельность в транспортной отрасли: специфика и перспективы [Текст] / Д.А. Крегель // В сборнике: Материалы конференций ГНИИ "Нацразвитие". Январь 2018. С. – 153-157.

8 Евтюков, С. А. Метод оценки наличия технической возможности у водителя транспортного средства избежать ДТП с применением современных информационных и телематических технологий [Текст] / С.А. Евтюков, Б.В. Лукашов // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 2 (77). – С.54-60.

9 Экспертное исследование обзорности с места водителя транспортных средства категории М1 [Текст] / В.Ф. Гольчевский // Сибирские уголовно-процессуальные и криминалистические чтения. – 2021. – № 4 (34). – С. 104-115.

10 Драпалюк, М. В. Расследование и анализ аварийных ситуаций на автомобильных дорогах постоянного действия [Текст] / М.В. Драпалюк, В.А. Зеликов, Г.А. Денисов, Н.И. Злобина, Н.В. Зеликова // Лесотехнический журнал. –2021. –Т. 11. – № 2 (42). – С. 108-120.

11 Зеликов, В. А. Обеспечение безопасности участников движения в жилых зонах путём внесения дополнений в транспортное законодательство [Текст] / В.А. Зеликов, Г.А. Денисов, Н.В. Зеликова // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2020. – № 1 (67). – С. 266-270.

12 IMPROVEMENT OF THE CURRENT VERSION OF ROAD TRAFFIC REGULATIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION AS A PROMISING APPROACH TO ROAD SAFETY. Zelikov V.A., Denisov G.A., Dorokhin S.V., Razgonyayeva V.V., Zelikova N.V. Studies in Computational Intelligence. 2019. Т. 826. С. 1081-1088.

13 Новиков, А. Н. Оценка уровня безопасности дорожного движения на региональном уровне [Текст] / А.Н. Новиков, С.В. Еремин, Д.О. Ломакин // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – № 3 (70). – С. 72-79.

14 Климова, Г. Н. Математическое обоснование применения средств управления для повышения безопасности движения [Текст] / Г.Н. Климова, В.А. Зеликов, Ю.В. Струков, Г.А. Денисов, Е.А. Маклакова, Э.Н. Бусарин // Грузовик. – 2020. – № 10. – С. 27-31.

15 Научный центр БДД МВД России. Обзор дорожно-транспортной аварийности в РФ за 9 месяцев 2023 года.

16 Рокич, М. Методика «Ценностные ориентации»/ М. Рокич. – Москва // Большая энциклопедия для психологических тестов /авт.-сост. А.А.Карелин. – Москва: ЭКСМО, 2009 – С. 26-28.

17 Хорст Зиверт «Тестирование личности». Издательство «Инфра-М, Интерэксперт (1998).

18 Транспортная психология и работа в команде [Электронный ресурс] : методические указания к практическим занятиям для студентов по направлению подготовки 23.03.01 - Технология транспортных процессов / Г. Н. Климова, В. А. Зеликов, Г. А. Денисов, , Р. А. Кораблев, Э. Н. Бусарин; ВГЛТУ. - Воронеж, 2023. - 86 с. - ЭБС ВГЛТУ.

References

1 Zelikov, V.A. Analysis of the relationship between the psychological state of drivers and road safety [Text] / V.A. Zelikov, G.N. Klimova, G.A. Denisov, Yu.V. Strukov // Truck. - 2021. - No. 5. - P. 37-41.

2 Shatalov, E.V. Assessing the influence of driver psychological attitudes on ensuring the safety of road users [Text] / E.V. Shatalov, G.N. Klimova, N.V. Zelikova, Yu.V. Strukov, E.A. Chernikov, V.A. Zelikov // Truck. - 2021. - No. 8. - P. 44-48.

3 Klimova, G.N. The influence of the psychological state of drivers on road safety [Text] / G.N. Klimova, V.A. Zelikov, M.N. Kazachek, A.A. Skripnikov // In the collection: Education. Transport. Innovations. Construction. Collection of materials of the III National scientific and practical conference. - 2020. - P. 309-314.

4 Builenko, V.Ya. Study of subjective factors affecting driver performance [Text] / V.Ya. Builenko, G.N. Klimova, V.A. Zelikov, Yu.V. Strukov, A.Yu. Artemov // Science and technology in the road industry. - 2020. - No. 4 (94). - P. 33-36.

5 Klimova, G.N. Mathematical justification for the use of control tools to improve traffic safety [Text] / G.N. Klimova, V.A. Zelikov, Yu.V. Strukov, G.A. Denisov, E.A. Maklakova, E.N. Busarin // Truck. - 2020. - No. 10. - P. 27-31.

6 Advanced Protection for Your Embedded System 2021 [Electronic resource] - Access mode: <https://www.maximintegrated.com>

7 Innovative activities in the transport industry: specifics and prospects [Text] / D.A. Kregel // In the collection: Conference materials of the State Research Institute "Natravzvitie". January 2018. P. - 153-157.

8 Evtjukov, S.A. Method for assessing the technical capability of a vehicle driver to avoid an accident using modern information and telematics technologies [Text] / S.A. Evtjukov, B.V. Lukashov // The world of transport and technological machines. – 2022. – No. 2 (77). – P.54-60.

9 Expert study of visibility from the driver's seat of category M1 vehicles [Text] / V.F. Golchevsky // Siberian criminal procedural and forensic readings. – 2021. – No. 4 (34). – P.104-115.

10 Drapalyuk, M.V. Investigation and analysis of emergency situations on permanent roads [Text] / M.V. Drapalyuk, V.A. Zelikov, G.A. Denisov, N.I. Zlobina, N.V. Zelikova // Forestry journal. –2021. –V. 11. – No. 2 (42). – P.108-120.

11 Zelikov, V.A. Ensuring the safety of road users in residential areas by introducing amendments to transport legislation [Text] / V.A. Zelikov, G.A. Denisov, N.V. Zelikova // Scientific notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University. 2020. - No. 1 (67). - P. 266-270.

12 IMPROVEMENT OF THE CURRENT VERSION OF ROAD TRAFFIC REGULATIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION AS A PROMISING APPROACH TO ROAD SAFETY. Zelikov V.A., Denisov G.A., Dorokhin S.V., Razgonyaeva V.V., Zelikova N.V. Studies in Computational Intelligence. 2019. Vol. 826. P. 1081-1088.

13 Novikov, A.N. Assessment of the level of road safety at the regional level [Text] / A.N. Novikov, S.V. Eremin, D.O. Lomakin // The world of transport and technological machines. - 2020. - No. 3 (70). - P. 72-79.

14 Klimova, G.N. Mathematical justification for the use of control tools to improve traffic safety [Text] / G.N. Klimova, V.A. Zelikov, Yu.V. Strukov, G.A. Denisov, E.A. Maklakova, E.N. Busarin // Truck. - 2020. - No. 10. - P. 27-31.

15 Scientific Center for Road Safety of the Ministry of Internal Affairs of Russia. Review of road accidents in the Russian Federation for 9 months of 2023.

16 Rokeach, M. Methodology "Value Orientations" / M. Rokeach. - Moscow // The Great Encyclopedia for Psychological Tests / author-compiler A.A. Karelin. - Moscow: EKSMO, 2009 - P. 26-28.

17 Horst Sievert "Personality Testing". Publisher "Infra-M, Interexpert (1998).

18 Transport Psychology and Teamwork [Electronic resource]: methodical instructions for practical classes for students in the direction of training 23.03.01 - Technology of Transport Processes / G. N. Klimova, V. A. Zelikov, G. A. Denisov, R. A. Korablyov, E. N. Busarin; VGTU. - Voronezh, 2023. - 86 p. - Electronic Library System of VGTU.

© Зеликов В. А., Струков Ю. В., Климова Г. Н.,
Денисов Г. А., Внукова С. В., Черников Э. А., Разгоняева В. В., 2024

DOI: 10.34220/2311-8873-2024-53-66



УДК 629.11.02

UDC 629.11.02

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

ЭЛЕКТРОФИЗИКОХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РАЗЛОЖЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВС И ЭЛЕКТРОИСКРОВОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

ELECTROPHYSICOCHEMICAL CONNECTION OF THERMODYNAMIC PROCESSES OF DECOMPOSITION OF EXHAUST GAS COMPONENTS OF AUTOMOTIVE INTERNAL COMBUSTION ENGINES AND AN ELECTRIC SPARK DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION

Колесников Владислав Павлович,
к.т.н., АНО «Инженерная экология», г. Рязань,
e-mail: vladisl.kolesnickov2018@yandex.ru

Kolesnikov Vladislav Pavlovich,
candidate of technical sciences, ANO
«Engineering ecology», Ryazan,
e-mail: vladisl.kolesnickov2018@yandex.ru

✉¹ **Кирюшин Илья Николаевич**,
к.т.н., доцент, заведующий кафедрой
«Автомобили и транспортно-технологические
средства», Рязанский институт (филиал)
Московского политехнического университета,
г. Рязань, e-mail: aits-rimsou@mail.ru

✉¹ **Kiryushin Ilya Nikolaevich**,
candidate of technical sciences, associate profes-
sor, head of the department of Automobiles and
transport and technological vehicles, Ryazan insti-
tute (branch) of Moscow polytechnic university,
Ryazan, e-mail: aits-rimsou@mail.ru

Ретюнский Вячеслав Николаевич,
к.т.н., доцент кафедры «Автомобили и
транспортно-технологические средства»,
Рязанский институт (филиал) Московского
политехнического университета, г. Рязань,
e-mail: vnret@yandex.ru

Retyunskikh Vyacheslav Nikolaevich,
candidate of technical sciences, associate professor
of the Department of Automobiles and Transport-
Technological Means, Ryazan institute (branch) of
Moscow polytechnic university, Ryazan,
e-mail: vnret@yandex.ru

Кулик Сергей Николаевич,
к.т.н., начальник территориального отдела
государственного автодорожного надзора
по Тамбовской области, г. Тамбов,
e-mail: kulik@truck62.ru

Kulik Sergey Nikolaevich,
candidate of technical sciences, head of the
territorial department of the state highway
supervision in the Tambov region, Tambov,
e-mail: kulik@truck62.ru

Аннотация. В статье рассмотрена связь наук в обеспечении очистки выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания методом электроискровой обработки.

Annotation. The article considers the connection of sciences in ensuring the purification of exhaust gases of internal combustion engines by the method of electric spark treatment.

Ключевые слова: ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, УСТРОЙСТВО, ОЧИСТКА, РЕЦИРКУЛЯЦИЯ, ОТРАБОТАВШИЕ ГАЗЫ ДВС, ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ МЕТОД.

Keywords: ENERGY-SAVING TECHNOLOGY, DEVICE, CLEANING, RECIRCULATION, EXHAUST GASES OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES, ELECTRIC SPARK METHOD.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

В настоящее время во всём мире остро стоит проблема сохранения экологического баланса и снижения вредных выбросов и отходов от хозяйственной деятельности человека. Одним из главных загрязнителей атмосферы являются потребители топливно-энергетических ресурсов, сжигающие углеводородное топливо в своих целях. Именно поэтому в промышленно развитых странах популярны идеи так называемого «зелёного перехода» к экологически чистым видам энергоносителей. На протяжении последних 40 лет человечество пытается сократить выбросы парниковых и загрязняющих газов в атмосферу, основным производителем которых является транспорт, в первую очередь автомобильный.

На современном этапе развития автомобильной техники наиболее эффективными считаются методы снижения вредных выбросов с помощью очистки самих нефтепродуктов от серы, металлов и других примесей, имеющих в исходном сырье и добавляемых в процессе переработки с помощью обеднения горючей смеси и использования систем каталитической нейтрализации, дожигания и рециркуляции отработавших газов.

Однако, все эти методы подразумевают наличие сложных устройств в конструкции ДВС и систем отвода отработавших газов, которые имеют высокую стоимость, связанную с наличием в конструкции драгоценных металлов и жаропрочных материалов и сравнительно низкий ресурс по сравнению с жизненным циклом автомобилей, особенно грузовых, ресурс которых может составлять 1 млн. км. Такое положение приводит либо к снижению экологической безопасности современных автомобилей из-за выхода из строя систем очистки и дальнейшего их удаления с автомобиля, либо к высоким затратам на ремонт и поддержание этих систем, зачастую не сопоставимым с остаточной стоимостью всего автомобиля.

Известные способы очистки отработавших газов ДВС не обеспечивают очистку от вредных выбросов в пределах ПДК (предельно-допустимой концентрации). Это подтверждено нормами Евро 5, 6 и нашим исследованием в сравнении с каталитическим нейтрализатором [1-3].

Задачей нашего исследования является разработка устройства электроискровой очистки выхлопных газов автомобильных двигателей, позволяющего обойтись без применения дорогостоящих материалов и значительно снижающего стоимость и повышающего эффективность очистки выхлопных газов.

2 Материалы и методы

Для обоснования принципа работы предлагаемого устройства проведены теоретические исследования с целью обоснования его работоспособности и показателей эффективности его применения. Исследования проводились на стыке 4 наук: химия, физика, термодинамика и электроника (табл 1).

По патентам № 123463 [4] и № 154119 [5], а также [6, 7], очистка от вредных химических веществ производится согласно законам химии на основе принципов:

- 1) Принцип Гесса: «Молекулы вещества, состоящие из атомов, имеют электрический потенциал и внутреннюю энергию, энергию образования вещества, удельную энтальпию» [8, с. 205];
- 2) Принцип Дальтона: «В один и тот же объем можно поместить несколько объёмов газов, если они химически не взаимодействуют при небольших парциальных давлениях» [8, с. 31].

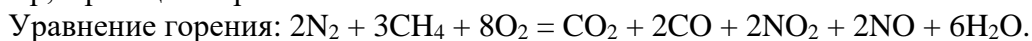
Первый принцип применён при очистке отработавших газов до степени соответствия ПДК (патент №123463) [4], второй принцип применён при очистке и рециркуляции отработавших газов (патент № 154119) [5].

На основании этих принципов очистка производится следующим образом: объёму отработавших газов, включающих оксиды CO, CO₂, NO, NO₂, сообщается энергия электрического разряда, большая, чем внутренняя энергия, удерживающая атомы в молекуле, т.е. большая энергии образования вещества или удельной энтальпии. В этом случае происходит разрушение молекулы вредного вещества, оксиды превращаются в газы O₂, N₂, не являющиеся вредными для здоровья человека.

Таблица 1 – Краткое описание взаимодействующих теорий

Химия	Физика	Термодинамика	Электроника
<p>ЗАКОН ГЕССА Н. И. 1. Стандартное изменение энтальпии реакции равно сумме стандартных энтальпий образования продуктов реакции за вычетом суммы стандартных энтальпий. Стандартное изменение изобарного потенциала реакции равно сумме стандартных изобарных потенциалов образования веществ.</p> <p>2.ЗАКОН ДАЛЬТОНА Д. Давление смеси газов, химически не взаимодействующих друг с другом равно сумме парциальных давлений газов, составляющих смесь. Это положение применимо к рециркуляции выхлопных газов после очистки. По патентам №154119 от 15.12.2014г. и №2714985 от 27.05.2019 г. очищенные отработавшие газы из устройства направляются в камеру сгорания двигателя, при этом экономия топлива может достигать до 40 %. Акты испытаний от 23.07.2014 г. на автомобиле МАЗ 3555 и Акт № 1 от 21.11.2016 г. (Ходовые испытания на автобусе ИКАРУС 260).</p>	<p>ЗАКОН сохранения энергии и материи при различных превращениях вещества или его компонентов при реакции взаимодействия, когда одни вещества путем реакции превращаются в другие компоненты. Молекулы вредных веществ CO, NO₂ и другие расщепляются электроискровой обработкой до атомов C, O₂, N₂, которые уже не вредны для здоровья человека.</p>	<p>Первое начало термодинамики. $dQ = dU + AdL$ (1), где dQ – энтальпия газов; dU – внутренняя энергия; $A\sum dL$ – энергия внешних сил. Второй закон термодинамики. Энтропия. $dU = C_v dT$ или $dQ = Tds$, где C_v – изохорная теплоёмкость газа; dT – изменение температуры газа; Tds – теплота, подводимая к газу. Максимальная работа: Согласно первому закону выражение (1) принимает вид $Tds = dU + AdV$, т.е. чтобы разорвать связи и получить атомы, не вредные для здоровья человека, надо иметь энергию большую, чем энтальпия: $Tds \gg dU$, эта энергия производится генератором при электрическом разряде.</p>	<p>Энергия, производимая генератором, превосходящая энтальпию за счет частоты 4000 Гц, времени накопления энергии в период $T = 2,5 \times 10^{-4}$ с и времени разряда $T_p = 10^{-8}$ с. Энергия, установленная на генераторе 40 Вт, энергия, получаемая при электрическом разряде 57×10^7 Вт/с превосходит энергию, установленную на генераторе в тысячи раз</p>

Из физики известен «Закон сохранения энергии, материи, массы», который был открыт Ломоносовым М.В. в 1748-1756 г. [8 с. 17]. «Превращение молекул сложных веществ в простые вещества – атомы, осуществляется и происходит на основании закона сохранения массы вещества. Сумма весов веществ до реакции и сумма весов веществ после реакции одинакова, например, в реакции горения метана».



Результаты после восстановления разрядом: $(C + O_2) + 2(C + O) + (N_2 + 2O_2) + (N_2 + O_2) + (6H_2 + 3O_2)$.

Полученные молярные массы:

2N ₂	14 · 4 = 56 г/моль,	CO ₂	12 + 16 · 2 = 44 г/моль,
3C	12 · 3 = 36 г/моль,	2CO	12 · 2 + 16 · 2 = 56 г/моль,
3H ₄	1 · 12 = 12 г/моль,	2NO ₂	14 · 2 + 16 · 4 = 92 г/моль,
8O ₂	16 · 16 = 256 г/моль,	2NO	14 · 2 + 16 · 2 = 60 г/моль,
-----		6H ₂ O	1 · 12 + 16 · 6 = 108 г/моль,
	360 г/моль.	-----	
			360 г/моль.

Таблица 2 - Расчет необходимой энергии для разложения оксидов отработавших газов, исходя из реакции горения метана [9]

Оксиды	Плотность, кг/м ³	Удельная энтальпия образования, ккал/моль	Содержание выбросов в выхлопных газах, мг/м ³	Молекулярный вес, г/моль	Процентное содержание компонентов смеси, %	Доля каждого компонента в 1 м ³	Содержание выбросов в мг/м ³ с учётом процентного объёма	Объём, занимаемый грамм-молекулой, м ³	Количество молей в процентном объёме	Затраты энергии по разложению оксидов на элементы и атомы, ккал	Расчётная мощность энергии, Вт·ч
CO ₂	1,96	-94	1900	44	12,2	0,122	232	0,0224	5,37	-504,5	-585
2CO	1,25	-26,4	950	56	15,5	0,155	14,7	-	8,68	-22,9	-266
2NO	1,34	+21,6	13,5	60	16,7	0,167	2,25	-	10,02	+216	+251
2NO ₂	2,05	+8	2,188	92	25,6	0,256	0,56	-	23,55	+188	+218
6H ₂ O	0,8	-57,8	-	108	30	0,3	-	-	32,4	-1873	-2172
Итого				360	100	1,0			80,4	2208	2562

* 1 Мкал = 1,16 Вт·ч;

** Знаки: + - экзотермическая реакция с выделением энергии; - эндотермическая реакция с поглощением энергии.

Чтобы пошла реакция расщепления молекул оксидов на атомы, требуется сообщить энергию электрического разряда большую, чем энергия, удерживающая атомы в молекуле, т.е. удельной энтальпии, энергии образования вещества [8 с. 205]. CO – 26,4 ккал/моль, NO – 21,6 ккал/моль.

Рассмотрим механизм получения импульсной мощности на генераторе и сравним его с необходимой потенциальной мощностью, удерживающей атомы в молекуле оксидов.

Установленная мощность импульсного генератора $N = 30 \dots 40$ Вт, частота $n = 4000$ Гц, период $T_{имп} = 1/4000 = 2,5 \cdot 10^{-4}$ с, импульсная мощность $N_{имп} = 40/2,5 \cdot 10^{-4} = 1,6 \cdot 10^5$ Вт/с. При работе устройства в течение 1 часа вырабатывается энергия $1,6 \cdot 10^5 \cdot 3600 = 57 \cdot 10^7$ Вт·ч. А для расщепления 1 м³ оксидов требуется 2562 Вт·ч (табл. 2).

Средний элементный состав бензинового топлива по массе:

$$m_C = 85 \% ; m_H = 14,5 \% ; m_O = 1 \% \text{ или в долях } - 0,855; 0,145; 0,001.$$

По формуле Менделеева Д.И. [9 с. 37] количество воздуха, необходимого для сгорания 1 кг топлива:

$$l_0 = 1/0,23 (8m_C/3 + 8m_H - m_O) = 1/0,23 (8 \cdot 0,855/3 + 8 \cdot 0,145 - 0,01) = 14,9 \text{ кг},$$

Объём этого воздуха составляет:

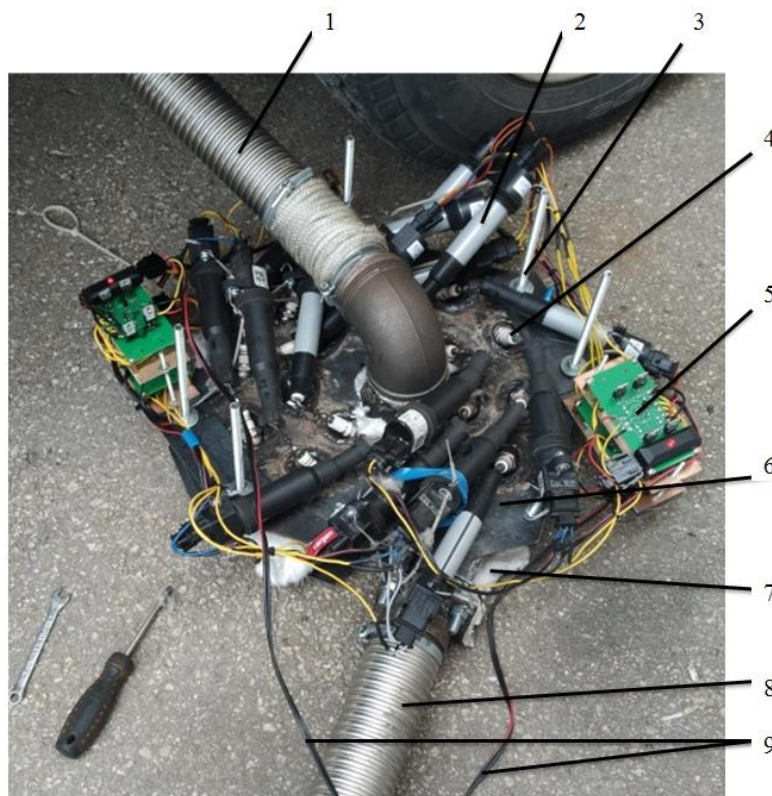
$$V = 14,9/1,29 = 11,5 \text{ м}^3,$$

где 1,29 кг/м³ – плотность воздуха.

На очистку 1 м³ отработавших газов требуется 2562 Вт·ч, а на 11,5 м³:

$$2562 \cdot 11,5 = 29463 = 2,95 \cdot 10^4 \text{ Вт·ч}.$$

Импульсный генератор (рис. 1) предлагаемого устройства для очистки отработавших газов вырабатывает $57 \cdot 10^7$ Вт·ч, что в 19300 раз больше необходимой энергии. В ходе экспериментальных исследований подтвердилось, что в предлагаемом устройстве происходит очистка отработавших газов до уровня ПДК (предельно-допустимой концентрации) [1, 10-14].



1 – впускной патрубок, присоединяемый к выхлопной трубе автомобиля; 2 – индукционная катушка; 3 – соединительная шпилька; 4 – разрядник; 5 – генератор электрических импульсов; 6 – корпус реактора; 7 – уплотнитель корпуса реактора; 8 – выпускной патрубок; 9 – электропровода соединения с аккумулятором автомобиля

Рисунок 1 - Модернизированное устройство по очистке отработавших газов ДВС методом электроискровой обработки

Теоретическое обоснование процесса очистки и практическое применение способа опубликовано в ВИНТИ РАН от 02.03.2018 г. [11].

Из первого закона термодинамики $dQ = dU + \sum dL$ [15 с. 30] имеем, что энтальпия газов, внутренняя энергия – dU и энергия внешних сил – $\sum dL$ в сумме создают энергию dQ , воздействующую на систему и меняющую ее параметры: температуру и давление. Энергия связей есть внутренняя энергия, удерживающая атомы в молекуле- dU .

По второму закону термодинамики энтропия $dU = C_v dT$ или $dQ = Tds$. Тогда максимальная работа согласно первому закону $dQ = dU + \sum dL$ принимает вид $Tds = dU + \sum dL$, т.е. чтобы разорвать связи и получить атомы, надо иметь энергию большую, чем энтальпия: $Tds \gg dU$. Эта энергия производится импульсным генератором через индукционные катушки при электрическом разряде в предлагаемом устройстве очистки.

Электроника – наука, благодаря которой возможно получение необходимой энергии в импульсе генератора. Для расщепления молекул оксидов нужна энергия, превосходящая энтальпию оксидов за счет частоты 4000 Гц, времени накопления энергии $T = 2,5 \cdot 10^{-4}$ с и времени разряда $T_p = 10^{-8}$ с. Энергия, установленная на генераторе 40 Вт, при электрическом разряде генерирует энергию $16 \cdot 10^4$ Вт·с, превосходящую энергию, установленную на генераторе в тысячи раз [16].

2.1 Расчет очистки от СО оксида углерода [2].

По экологическим стандартам токсичности отработавших газов автомобилями Евро-5,6 содержание СО в них должно быть не более 0,1 %.

На современных автомобилях очистка отработавших газов обеспечивается каталитическими нейтрализаторами [3]. Максимально допустимая концентрация СО в выхлопе современного автомобиля при плотности газа $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$ составляет 1250 мг/м^3 , что превышает ПДК в $1250/5 = 250$ раз.

Проведённые экспериментальные исследования показали, что применение предлагаемой разработки [1] обеспечивает при начальной концентрации $55,9 \text{ мг/м}^3$, концентрацию после очистки $5,4 \text{ мг/м}^3$, то есть степень очистки достигает 90,4 %. А превышение ПДК в данном случае составляет всего $0,4 \text{ мг/м}^3$ или 8 %.

2.2 Расход свободного кислорода при горении топлива [17].

По формуле Менделеева Д.И. на 1 кг топлива при сжигании требуется 14,9 кг воздуха (см. с. 3 в настоящей статье). В воздухе по массе содержится кислорода 23,15 % [18 с. 5]. При сжигании 1 кг топлива расходуется $14,9 \cdot 0,2315 = 3,45$ кг кислорода. В 1969 г. на сжигание топлива во всём мире было израсходовано 13 млрд. тонн кислорода [18 с. 3]. В настоящее время сжигается ежегодно 9 млрд. т. топлива, на что затрачивается 31 млрд. т. кислорода. То есть расход кислорода на хозяйственную деятельность увеличился в 2,5 раза. Дальнейшее увеличение расхода кислорода ведёт к снижению его концентрации в воздухе, что уже сейчас можно наблюдать в крупных городах и промышленных центрах, поскольку растения не успевают восстанавливать баланс кислорода в воздухе даже до уровня ПДК 18 %, при необходимой для нормальной жизнедеятельности норме в 20 % [19]. Таким образом может наступить период кислородного голодания.

Одним из способов снижения потребления кислорода воздуха и даже восстановления его концентрации в воздухе можно считать предлагаемую электроискровую обработку отработавших газов.

3 Результаты исследований

В таблицах 3-6 приведены результаты апробирования устройства на автомобилях ЗИЛ-130, МАЗ-3555, автобусе ИКАРУС 260, Рено-Логан, КИА-Сид, ГАЗ-А23R32, и дизель-генераторе Д 234.

Данные таблицы № 3 по моторным испытаниям устройств позволили построить графическую зависимость степени очистки отработавших газов ДВС от частоты вращения коленчатого вала, (рис. 2, 3), и вывести формулу (1) зависимости значения коэффициента эффективности очистки ОГ:

$$F = U \cdot \sqrt{n}, \quad (1)$$

где F – степень очистки ОГ от определённого газа, мг/м^3 ; U – коэффициент эффективности очистки ОГ; n – частота вращения коленчатого вала ДВС, мин^{-1} .

Таблица 3 – Показатели токсичности ОГ двигателя при экспериментальных исследованиях

№ п/п Модель автомобиля Акт испытания Организация	Документы Лаборатории хим. анализа Ряз. универ. им. Есенина	Степень очистки от CO, мг/м ³			Степень очистки от CO в сравнении с ПДК по CO-5мг/м ³ %	Выход кислорода, %	Установленная мощ- ность генератора, Вт	Количество разрядников	Частота, Гц	Импульсная мощность, Вт/с.	Конст. реактора. Модель	Газоана- лизатор
		6000 об/мин	6000 об/мин									
1. Лаборатория Устройство Лабораторное	Протокол № 28 от 06.05.11г.	Без устр. 43,75	С устр. 14,35		59	0	30	4	400	1,6 · 10 ⁴	Д = 40 мм L = 100 мм K = 1	АНКАТ- 310-03
2. Лаборатория Устройство Лабораторное	Протокол № 125 от 07.10.11г.	Без устр. 41,88	С устр. 5,94		86	1,24	30	8	1200	4,8 · 10 ⁴	Д = 60 мм L = 200 мм K = 1	
3. Модель ЗИЛ-431516 Акт испытаний от 18.02.13г. Рязанский Водоканал	Протокол № 8 от 18.02.13г.	900 мин ⁻¹ Без устр. 55,9 С устр. 5,4	2500 мин ⁻¹ Без устр. 64,3 С устр. 7,4	5000 мин ⁻¹ Без Устр. 68,3 С устр. 7,8	91,4	0,8	40	8	2000	8 · 10 ⁴	Д = 60 мм L = 200 мм K = 2	
4. Модель ЗИЛ-431516 Акт испытаний от 31.05.13г. Рязанский Водоканал	Протокол № 9 от 31.05.13г. Диоксид углерода CO ₂ до очистки после очистки	Без устр. 52,7 С устр. 5,4 12,6 5,7	Без устр. 60,5 С устр. 7,5 15,8 5,2	Без устр. 68,3 С устр. 7,8 17,1 6,6	91,4	5,8	40	8	4000	16 · 10 ⁴	Д = 60 мм L = 200 мм K = 3	
5. Модель МАЗ 3555 Акт испытан 23.07.14г. Ряз.опытный за- вод с рецирк. вы- хлопных газов	Протокол №10 от 29.09.14г. CO ₂ до очистки после очистки	Без 32 С устр. 9,94 12,67 10,8	Без 34 С устр. 12,23 13,55 11,2	Без 36 С устр. 13,4 14,05 11,67	64	13,55	40	8	4000	16 · 10 ⁴	Д = 60 мм L = 200 мм K = 4	АНКАТ- 310-03
6. Автобус ИКАРУС 260 Акт №1 испытаний от 21.11.16г Ряз.автоколонна 1310 с рециркул. выхлопных газов	Протокол № 11 от 11.10.16г.	Без устр. 74 С устр.43	Без устр. 69 С устр.40	Без устр. 63 С устр.36	40	0	40	8	4000	16 · 10 ⁴	Д = 120 мм L = 250 мм K = 5	
7. ООО Мещер. Науч. Тех. Центр от 10,08.18г. Автомобиль Рено Логан	Отчёт о резуль- татах замеров	Без устрой- ства 9645±1447	С устройством 1664±250		5000 мин ⁻¹ Без устр. NO ₂ 15±4 мг/м ³ NO 24±6 мг/м ³	5000 мин ⁻¹ С устр. NO ₂ <1 мг/м ³ NO 17±4 мг/м ³	40	8	4000	16 · 10 ⁴	Ромб L = 350 мм H = 50 мм K = 6	Полар

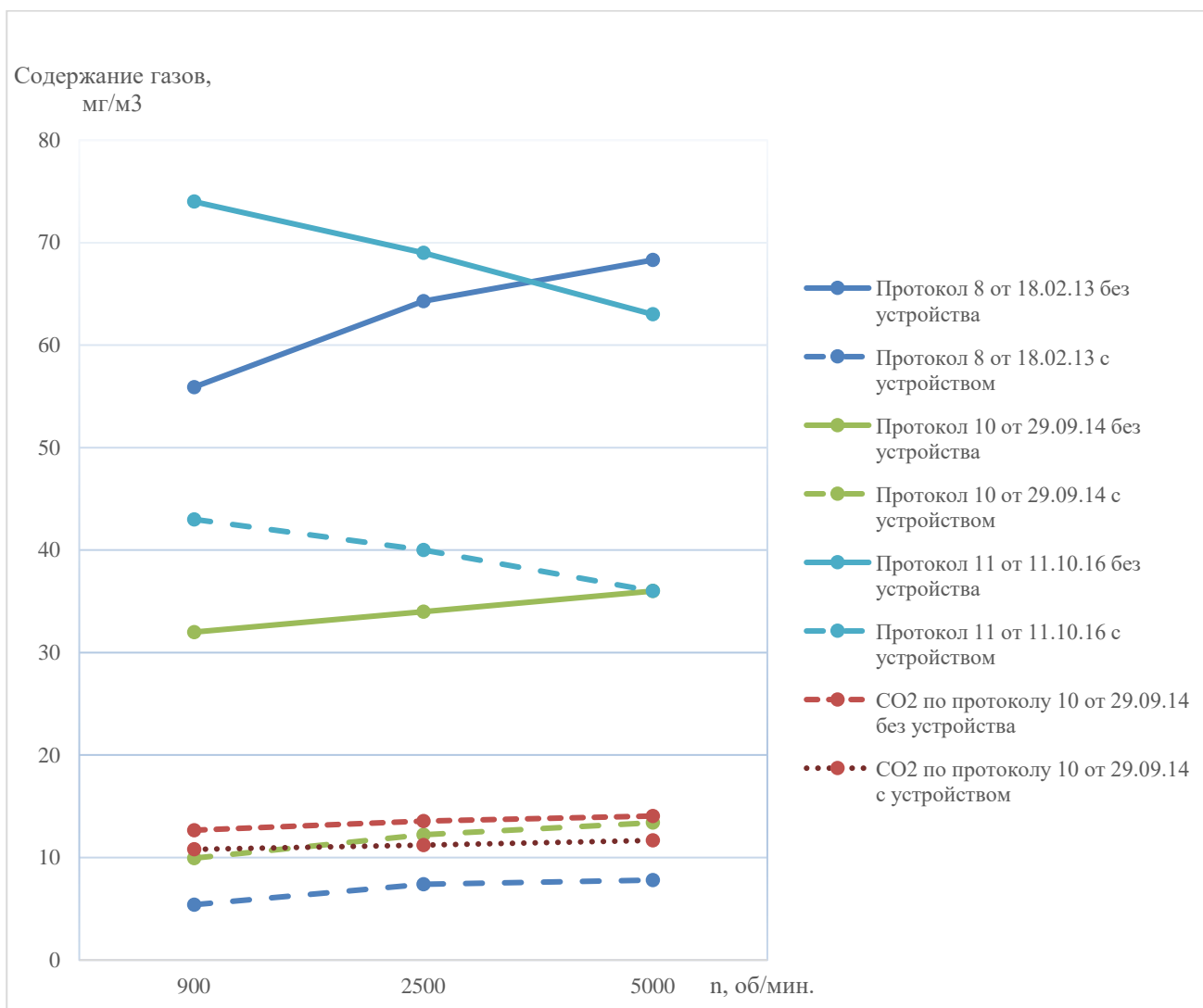


Рисунок 2 – Сравнительная характеристика содержания CO и CO₂ при испытаниях устройства очистки отработавших газов в 2013-2016 годах

Исследования проводились в десяти организациях, на семи двигателях разных конструкций и назначения, при этом апробировалось семь моделей устройств для очистки отработавших газов. При испытаниях произведено 122 экспериментальных измерения. Все устройства показали положительные результаты: высокая степень очистки отработавших газов от угарного газа вплоть до показателей ПДК, с выходом кислорода до 9,7 % (табл. 4). Причём кислород образуется именно в результате расщепления CO, а не по причине неполного сгорания топлива.

Наиболее наглядно положительный эффект от использования предлагаемого устройства можно продемонстрировать в сравнении с штатным каталитическим нейтрализатором, установленным на автомобиле (табл. 5, рис. 4).

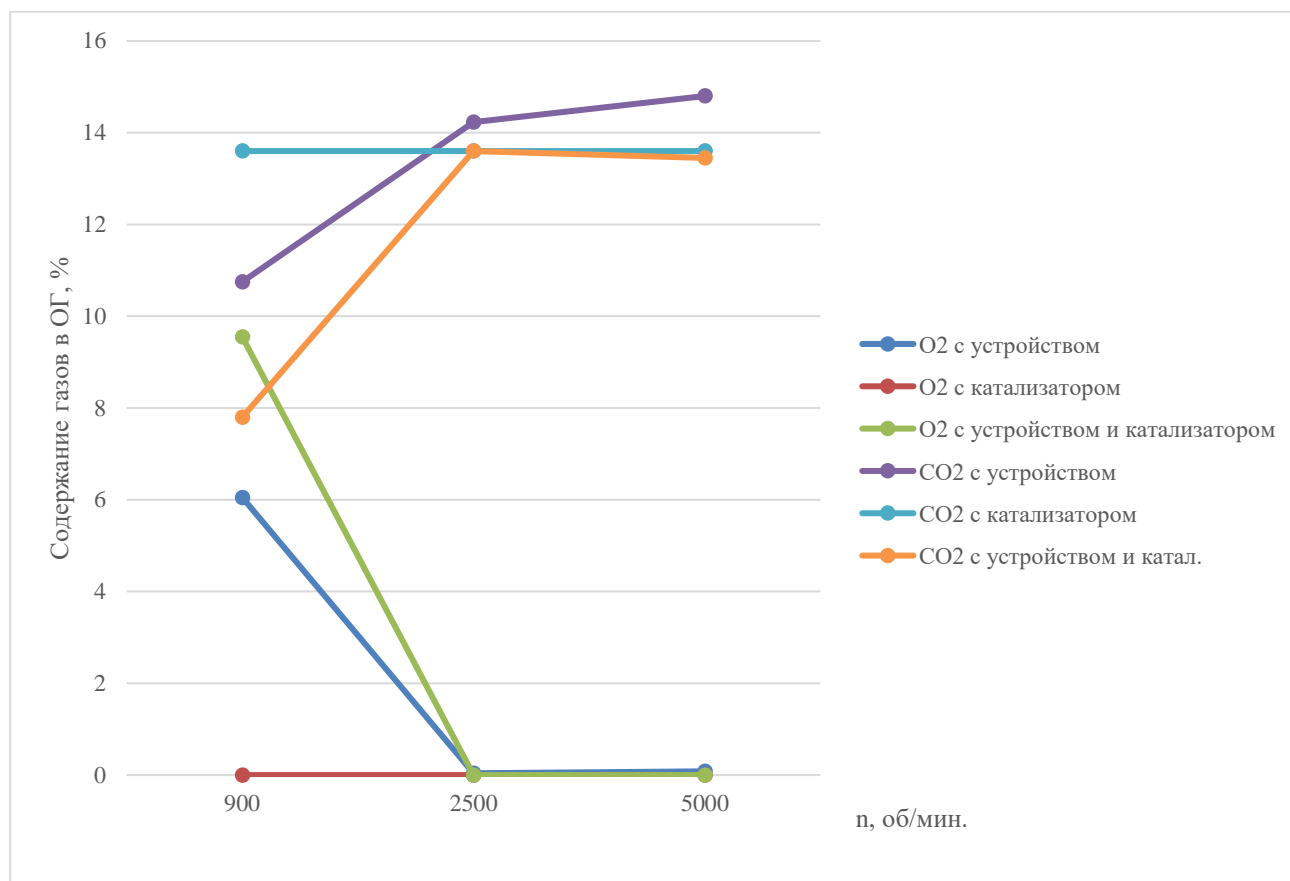


Рисунок 3 – Концентрация O₂ и CO₂ в отработавших газах бензинового двигателя при испытаниях 05.07.2019 года

Таблица 4 – Показатели токсичности ОГ двигателя при экспериментальных исследованиях в лаборатории университета им. Н.Э. Баумана 26.07.2018 г.

№ опыта	Частота вращения коленвала, мин ⁻¹	CO, %	CH, %	CO ₂ , %	O ₂ , %	NO ₂ , ppm	Дымность, %	Газоанализатор
Без устройства								
1	1584	0,042	45	1,735	18,46	177	0	ИНФРАКАР-М
2	1542	0,044	42	3,429	15,94	480	0	
3	1500	0,033	37	5,86	12,34	1083	0	
4	1470	0,048	35	9,578	6,806	1292	46	
5	1503	0,027	31	5,956	12,09	1127	1	
С устройством								
1	1584	0,012	4	1,846	18,35	174	0	ИНФРАКАР-М
2	1536	0,012	5	3,555	15,84	489	0	
3	1500	0,012	6	5,996	12,32	1109	0	
4	1470	0,029	9	8,81	8,124	1538	20	
5	1503	0,013	9	6,11	11,98	1141	0	

Испытательная установка – Дизель-генератор Д-234, мощность 35 кВт; Конструкция устройства очистки отработавших газов: Мощность генератора – 40 Вт, количество разрядников – 8, реактор устройства – труба $\varnothing 60$ мм, $L = 350$ мм, $H = 50$ мм; Модель К-3.

Таблица 5 – Показатели токсичности ОГ двигателя при экспериментальных исследованиях в Рязанском институте (филиале) Московского политехнического университета 05.07.2019 года

Режимы испытаний	Частота вращения, мин ⁻¹	Концентрация CO, %	Концентрация CH, ppm	Концентрация O ₂ , %	Концентрация CO ₂ , %	Газоанализатор
Этап 1. С устройством для очистки отработавших газов и непрогретым штатным нейтрализатором						
1	900 (XX)	0,01	0,47	5,8-6,3	10,75	ИНФРАКАР М
2	2500	0,02	0,49	0,04	14,23	
3	5000	0,04	0,49	0,08	14,8	
Этап 2. Без устройства для очистки отработавших газов с прогретым штатным нейтрализатором						
1.	900(XX)	0,01	0,11-0,17	0	13,59	ИНФРАКАР М
2.	2500	0 - 0,01	0,11-0,21	0	13,59	
3.	5000	0- 0,01	0,17	0	13,59	
Этап 3. С устройством для очистки отработавших газов и прогретым штатным нейтрализатором						
1.	900 (XX)	0-0,01	0,09	9,4-9,7	7,7-7,9	ИНФРАКАР М
2.	2500	0,01	0,19	0	13,57	
3	5000	0-0,03	0,16-0,17	0	13,45	

Испытательная установка – Автомобиль KIA CEED 1,6 2WD 2012 г.в., Конструкция устройства очистки отработавших газов: Мощность генератора – 40 Вт, количество разрядников – 8, реактор устройства – ромб, $L = 350$ мм, $H = 50$ мм; Модель К-6.

Таблица 6 – Показатели токсичности ОГ двигателя при экспериментальных исследованиях в Рязанском институте (филиале) Московского политехнического университета 29.07.2021 года

Режимы	Частота вращения, мин ⁻¹	Концентрация CO, %	Концентрация CH, ppm	Концентрация O ₂ , %	Концентрация CO ₂ , %	Газоанализатор
Этап 1. Без устройства с прогретым штатным нейтрализатором						
1	750	0,02-0,09	43-190	18,7	1,64-1,93	ИНФРАКАР - М 0.1
2	2000	0,07-0,15	64-156	18,25	1,8-2,06	
3	4000	0,15-0,16	178-218	16,73	3,7-4,27	
Этап 2. С устройством и прогретым штатным нейтрализатором						
1.	750	0-0,03	25-50	18,71	1,16-1,29	ИНФРАКАР - М 0.1
2.	2000	0-0,09	0-99	18,21	1,46-2,02	
3.	4000	0-0,1	0-90	16,53	2,65-2,9	
Погода: давление 742 мм рт.ст.; влажность 71%; температура $t = 23,4^{\circ}$ С.						

Испытательная установка – Автомобиль ГАЗ-А23R32, мощность 130 кВт; Конструкция устройства очистки отработавших газов: Мощность генератора – 40 Вт, количество разрядников – 16, реактор устройства – улитка, спираль Архимеда, 400x400x180 мм, длина реактора 1100 мм, Модель К-7.

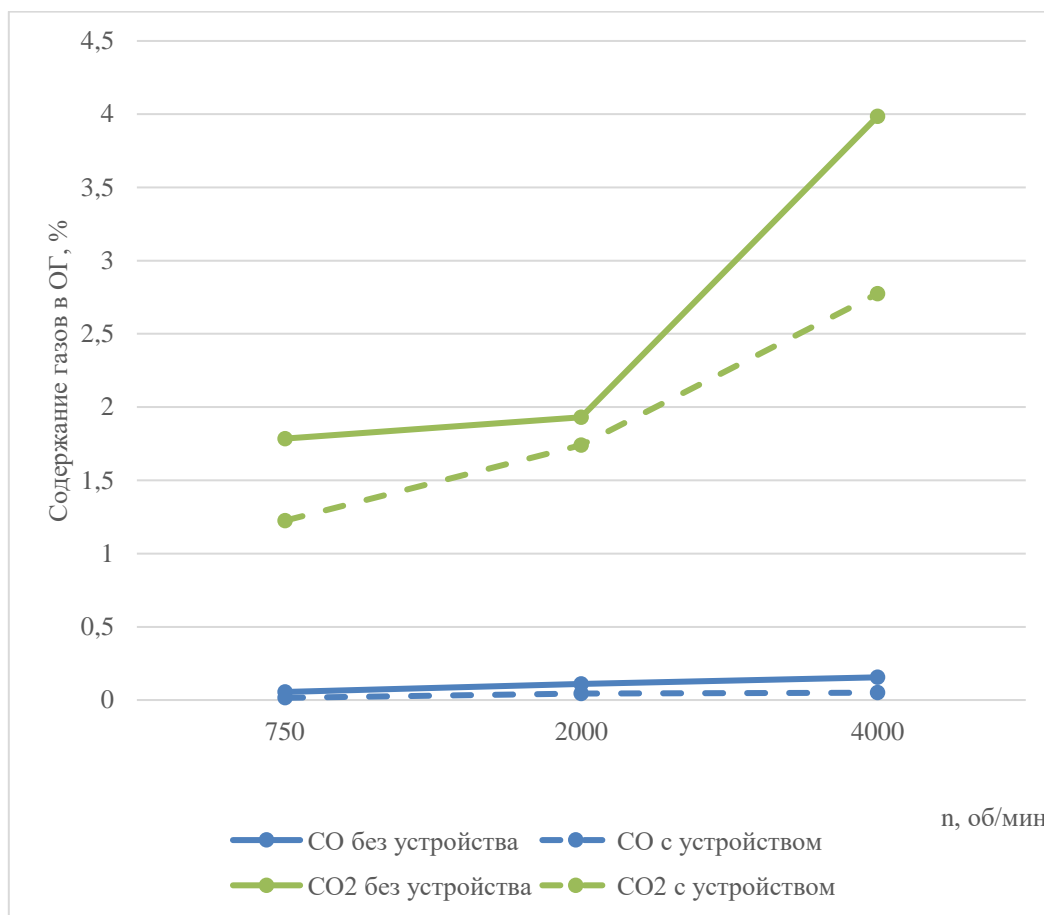


Рисунок 4 – Концентрация CO и CO₂ в отработавших газах дизельного двигателя при испытаниях 29.07.2021 года

Разберём результаты исследований, представленные в виде таблиц 3-6.

Например, протокол № 9 [1]. Значение токсичности после очистки составляет величины 5,4; 7,5; 7,8 - мг/м³ и превышает ПДК – 5 мг/м³ для CO в 5,4/5 = 1,08 раз; 7,5/5 = 1,5 раз; 7,8/5 = 1,56 раз).

Допускаемая нормативами концентрация CO 0,01%, при плотности газа 1,25 кг/м³, соответствует 125/1 = 125 мг/м³, что превышает ПДК в 125/5 = 25 раз. Получается, что устройство позволяет очистить выхлопные газы от угарного газа CO практически до уровня ПДК сразу на выходе из выхлопной трубы.

Кроме очистки от CO, производилась очистка от CO₂- [1] (см. табл.2 № п/п 5-6). Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что очистка предлагаемым устройством позволяет снизить и содержание углекислого газа в составе отработавших газов.

На автобусе ИКАРУС 260 устройство работало с рециркуляцией выхлопных газов. Скорость движения автобуса в среднем была в пределах 20-30 км/ч. При испытании с рециркуляцией отработавших газов ОГ после очистки направлялись в камеру сгорания ДВС. По Акту №1 при ходовых испытаниях (см. табл. 3 № п/п 6) уровень CO превышал ПДК в 8 раз [14].

4 Обсуждение и заключение

4. 1 Одним из способов очистки атмосферного воздуха можно считать использование электрических разрядов для расщепления вредных веществ в отработавших газах.

4. 2 Предлагаемую технологию и устройство электроискровой обработки можно применить для очистки отработавших газов ДВС.

4. 3 Предлагаемая технология и устройство позволяют кардинально улучшить состояние атмосферного воздуха в РФ при широком внедрении на транспорте и в промышленности.

4. 4 Восстановление свободного кислорода, утраченного при горении топлива, снижает риск наступления возможного кислородного голодания в будущем.

4. 5 Расщепление углекислого газа в предлагаемом устройстве позволяет решить вопрос парникового эффекта и потепления климата.

4. 6 Применение предлагаемой технологии очистки отработавших газов совместно с рециркуляцией, даёт возможность повысить топливную экономичность за счёт повторного использования восстановленного углерода, а также снизить вредные выбросы в атмосферу воздуха.

4. 7 Предлагаемое устройство, за счёт использования стандартных изделий и отсутствия драгоценных металлов в составе, дешевле существующих аналогов, как при изготовлении, так и при монтаже на новые автомобили и оснащении эксплуатируемого транспорта, не требует реконструкции промышленности, решает вопросы экологии, очищая выбросы до уровня ПДК.

4. 8 Перспективным направлением для дальнейшего исследования является очистка вредных выбросов из труб большого диаметра, т.е. из труб промышленных предприятий, ЖКХ и нулевые выбросы при рециркуляции отработавших газов, что соответствует государственной программе РФ декарбонизации.

Список литературы

1 Протокол № 9 Количественного химического анализа проб воздуха из выхлопной трубы ЗИЛ 431516 № 0438 Е 62 от 31.05.2013 г. Лаборатория химического анализа Рязанского государственного университета им. С.А. Есенина.

2 Колесников В.П. и др. Результаты испытания устройства для очистки отработавших газов двигателя внутреннего сгорания [Текст] / Колесников В.П. и др. // ГРУЗОВИК –2020. –№3. – 11-15 с. ISSN: 1684-1298.

3 Колесников В.П. и др. Результаты испытания модернизированного устройства для очистки отработавших газов двигателя внутреннего сгорания [Текст] / Колесников В.П. и др. // Грузовик: транспортный комплекс, спецтехника –2022. –№5. –3-9 с. ISSN: 1684-1298, DOI: 10.36652/1684-1298-2022-5-3-9.

4 Патент на полезную модель № 123463. Устройство для очистки выхлопных газов [Текст] / Колесников В.П., Гейнц А.А.; заявители и патентообладатели Колесников В.П., Гейнц А.А. - №2012128257/06; заявл 03.07.2012; опубл. 27.12.2012 Бюл. №36.

5 Патент на полезную модель № 1541109. Устройство для очистки и рециркуляции выхлопных газов [Текст] / Колесников В.П., Половинкин И.М., Кучеренко С.Н.; заявитель и патентообладатель Колесников В.П. - №2014150727/06; заявл 15.12.2014; опубл. 20.08.2015 Бюл. №23.

6 Патент на изобретение № 2714985. Устройство для очистки и рециркуляции выхлопных газов [Текст] / Колесников В.П., Петров А.А.; заявитель и патентообладатель ЗАО «Лайттек Плюс» - 2019116198/06; заявл. 27.05.2019; опубл. 21.02.2020.

7 Патент на изобретение № 2764684. Устройство для очистки отходящих газов [Текст] / Колесников В.П., Петров А.А.; заявитель и патентообладатель ЗАО «Лайттек Плюс» - 2021100050/06; заявл. 11.01.2021; опубл. 19.01.2022.

8 Глинка Н.Л. Общая химия [Текст]: учебное пособие для ВУЗов / под ред. А.И. Ермакова. – Изд. 30-е, исправленное –М.: Интеграл-Пресс, 2003. – 728 с.

9 Колесников В.П. Переработка ТБО и промтоходов с целью нейтрализации выхлопных газов, вредных выбросов в атмосферу и очищение окружающей среды от твердых бытовых и промышленных отходов обработки [Текст]: монография – Рязань: «Поверенный», 2008 – 14 с.

10 Автомобильные двигатели [Текст] / под ред. д.т.н. М.С.Ховаха, – М., А22 «Машиностроение», 1977. – 591 с.

11 Колесников В.П. Энергосберегающая технология и устройство для очистки и рециркуляции выхлопных газов методом электроискровой обработки [Текст]. – Рязань, 2018 – 25 с. – Деп. в ВИНТИ РАН 02.03.2018 № 26-В2018.

12 Акт производственных испытаний устройства К-2 по очистке выхлопных газов Автомобиль ЗИЛ-431516 гос.№ 0438 ЕН 62 от 11.02.2013 г. МП Водоканал г.Рязань.

13 Акт производственных испытаний разработанного изготовленного ФГУП РОЗ Россельхозакадемии устройство К-4 по очистке выхлопных газов с рециркуляцией выхлопных газов, проведенных на автомобиле МАЗ 3555 гос.№ 0090 ВК 62 от 23.07.2014.

14 Акт № 1 испытаний устройства К-5 для очистки и рециркуляции выхлопных газов на автобусе ИКАРУС 260 гос.№ АЕ 00362 RUS от 21.11.2016 г. (Рязанская автоколонна № 1310).

15 Жуковский В.С. Термодинамика [Текст]:/ под ред. А. А. Гухмана. – М.: Энергоатомиздат, 1983. - 303 с.

16 ЛАЗАРЕНКО Б.Р. и ЛАЗАРНКО Н.И. Электроискровая обработка токопроводящих материалов [Текст]: АКАДЕМИЯ НАУК СССР, Центральная научно-исследовательская лаборатория электрической обработки материалов – М.: Изд. Академии Наук СССР, 1958.

17 Коробкин В.И Экология и охрана окружающей среды: учебник [Текст]: В.И Коробкин, Л.В. Перельский. — М.: КНОРУС, 2013. — 336 с. ISBN 978-5-406-02033-3.

18 Матвеев А.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы [Текст]: – Л.: Гидрометиздат, 1984. – 751 с.

19 Государственная нормаль ГН 2.1.6.1338-03. ЕСКД [Электронный ресурс] // Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 30.05.2003 N 114 "О введении в действие ГН 2.1.6.1338-03" | ГАРАНТ (garant.ru).

References

1 Protocol No. 9 of Quantitative chemical analysis of air samples from the exhaust pipe of ZIL 431516 No. 0438 E 62 dated 05/31/2013. Laboratory of Chemical Analysis of Ryazan State University named after S.A. Yesenin.

2 Kolesnikov V.P. et al. Test results of a device for cleaning exhaust gases of an internal combustion engine [Text] / Kolesnikov V.P. et al. // TRUCK -2020. –No.3. – 11-15 p. ISSN: 1684-1298.

3 Kolesnikov V.P. et al. Test results of an upgraded device for cleaning exhaust gases of an internal combustion engine [Text] / Kolesnikov V.P. et al. // Truck: transport complex, special equipment -2022. –№5. –3-9 S. ISSN: 1684-1298, DOI: 10.36652/1684-1298-2022-5-3-9.

4 Utility Model Patent No. 123463. A device for cleaning exhaust gases [Text] / Kolesnikov V.P., Heinz A.A.; applicants and patent holders Kolesnikov V.P., Heinz A.A. - No.2012128257/06; application 03.07.2012; publ. 27.12.2012 Byul. No.36.

5 Utility model patent No. 1541109. Device for cleaning and recirculation of exhaust gases [Text] / Kolesnikov V.P., Polovinkin I.M., Kucherenko S.N.; applicant and patent holder Kolesnikov V.P. - No. 2014150727/06; application 15.12.2014; publ. 08/20/2015 Issue No. 23.

6 Patent for invention No. 2714985. A device for cleaning and recirculation of exhaust gases [Text] / Kolesnikov V.P., Petrov A.A.; applicant and patent holder of CJSC Laittek Plus - 2019116198/06; application. 05/27/2019; publ. 02/21/2020.

7 Patent for invention No. 2764684. A device for cleaning exhaust gases [Text] / Kolesnikov V.P., Petrov A.A.; applicant and patent holder of CJSC Laittek Plus - 2021100050/06; application 11.01.2021; publ. 19.01.2022.

8 Glinka N.L. General chemistry [Text]: textbook for universities / edited by A.I. Ermakov. - Ed. 30th, revised –M.: Integral Press, 2003. – 728 p.

9 Kolesnikov V.P. Processing of solid municipal waste and industrial waste for the purpose of neutralizing exhaust gases, harmful emissions into the atmosphere and cleaning the environment from solid municipal and industrial waste processing [Text]: monograph – Ryazan: "Poverenny", 2008 – 14 p.

10 Car engines [Text] / edited by Doctor of Technical Sciences M.S.Hovakha, – M., A22 "Mechanical Engineering", 1977. – 591 p.

11 Kolesnikov V.P. Energy-saving technology and device for cleaning and recirculation of exhaust gases by electric spark treatment [Text]. – Ryazan, 2018 – 25 p. – Dept. in VINITI RAS 02.03.2018 No. 26-V2018.

12 Act of production tests of the K-2 device for exhaust gas purification Car ZIL-431516 state. No. 0438 EN 62 dated 02/11/2013 MP Vodokanal of Ryazan.

13 The act of production tests of the K-4 exhaust gas purification device with exhaust gas recirculation developed and manufactured by the Federal State Unitary Enterprise ROZ of the Russian Agricultural Academy, carried out on the MAZ 3555 state car. No. 0090 VK 62 dated 07/23/2014.

14 Act No. 1 of testing the K-5 device for cleaning and recirculation of exhaust gases on the IKARUS 260 state bus. No. АЕ 00362 RUS Dated 11/21/2016 (Ryazan convoy No. 1310).

15 Zhukovsky V.S. Thermodynamics [Text]:/ edited by A. A. Gukhman. – М.: Energoatomizdat, 1983. - 303 p.

16 LAZARENKO B.R. and LAZARNKO N.I. Electric spark processing of conductive materials [Text]: ACADEMY of SCIENCES of the USSR, Central Research Laboratory of Electrical processing of Materials - M.: Ed. Academy of Sciences of the USSR, 1958.

17 Korobkin V. And Ecology and environmental protection: textbook [Text]: V.And Korobkin, L.V. Peredelsky. — M.: KNORUS, 2013. — 336 p. ISBN 978-5-406-02033-3.

18 Matveev A.T. Course of general meteorology. Atmospheric physics [Text]: – L.: Gidrometizdat, 1984. – 751 p.

19 The state norm of GN 2.1.6.1338-03. ESKD [Electronic resource] // Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated 30.05.2003 No. 114 "On the introduction of GN 2.1.6.1338-03" | GARANT (garant.ru).

© Колесников В. П., Кирюшин И. Н., Ретюнских В. Н., Кулик С. Н., 2024



2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ГУСЕНИЧНОГО ТЯГАЧА ДЛЯ РЕГИОНОВ С ЭКСТРЕМАЛЬНО НИЗКИМИ ТЕМПЕРАТУРАМИ

SUBSTANTIATION OF THE DESIGN OF A TRACKED TRACTOR FOR REGIONS WITH EXTREMELY LOW TEMPERATURES

Гудков Виктор Владимирович, к.т.н., доцент, доцент кафедры автомобильной подготовки, ВУНЦ ВВС «ВВА им. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж.

Gudkov Viktor Vladimirovich, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of automotive training, Military Education and Scientific Center of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy (Voronezh) the Ministry of Defense of the Russian Federation, Voronezh.

✉¹ **Сокол Павел Александрович**, к.т.н., преподаватель кафедры автомобильной подготовки, ВУНЦ ВВС «ВВА им. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, e-mail: pavsokol@yandex.ru

✉¹ **Sokol Pavel Alexandrovich**, candidate of technical sciences, lecturer at the department of automotive training, Military Education and Scientific Center of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy (Voronezh) the Ministry of Defense of the Russian Federation, Voronezh, e-mail: pavsokol@yandex.ru

Аннотация. В настоящее время эксплуатирующиеся в Антарктическом регионе гусеничные снегоходные транспортеры-тягачи с жилыми модулями, совершающие переходы в глубь континента, практически выработали свой ресурс и нуждаются в обновлении, а конструкция известных серийных образцов гусеничных транспортеров - тягачей, в основном, двойного назначения, не учитывает весь спектр факторов, влияющих на эксплуатацию в условиях Антарктиды, что, делает их ограниченно годными для широкого применения в данном регионе. Представлена научно обоснованная конструкция гусеничного снегоходного транспортера-тягача для эксплуатации в Антарктическом регионе для движения на большие расстояния вглубь континента в условиях экстремально низких температур окружающего воздуха и реализуемая его для движения на большие расстояния вглубь континента в условиях экстремально низких температур

Annotation. Currently, tracked snowmobile tractor transporters with residential modules operating in the Antarctic region, making transitions to the interior of the continent, have practically exhausted their resource and need to be updated, and the design of well-known serial samples of tracked tractor transporters, mainly dual-use, does not take into account the full range of factors affecting operation in Antarctica, this makes them limited suitable for widespread use in this region. A scientifically based design of a tracked snowmobile tractor transporter for operation in the Antarctic region for long-distance movement inland in conditions of extremely low ambient temperatures and implemented by its design and basic tactical and technical characteristics is presented.

окружающего воздуха и реализуемая его конструктивным исполнением и основными тактико-техническими характеристиками.

Ключевые слова: ТЯГАЧ, ЖИЛОЙ МОДУЛЬ, УШИРИТЕЛИ, ОБИТАЕМОСТЬ, АНТАРКТИДА, ЭКСТРЕМАЛЬНО НИЗКАЯ ТЕМПЕРАТУРА.

Keywords: TRACTOR, RESIDENTIAL MODULE, EXPANDERS, HABITABILITY, ANTARCTICA, EXTREMELY LOW TEMPERATURE.

¹ Автор для ведения переписки

1 Актуальность, постановка вопроса, план исследования (обзора)

Антарктида по праву считается самым суровым континентом по климатическим и метеорологическим условиям, рельефу местности, в недрах которого находятся значительные запасы каменного угля, железной и полиметаллической руды, драгоценных и редкоземельных металлов, огромные запасы пресной воды, большой объем углеводородного сырья на шельфе антарктических морей [1].

Более 20 стран имеют на этом континенте свои интересы и действующие научно – исследовательские станции, однако, у Российской Федерации большинство преобладающих позиций и статус первооткрывателя этого материка, позволяющих сохранять при этом геополитическое равновесие.

В целях сохранения своего присутствия в Антарктиде, основные направления развития и осуществления деятельности в интересах Российской Федерации регламентированы Федеральным законом от 05.06.2012 N 50–ФЗ (ред. от 02.07.2021г.) "О регулировании деятельности российских граждан и российских юридических лиц в Антарктике". Он определяет порядок и организацию проведения научных исследований в Антарктике (географических, гидрологических, геофизических, геологических, геохимических исследований), мониторинг окружающей среды Антарктики, обеспечение деятельности Российских антарктических станций и сезонных полевых баз в форме зимовочных и сезонных экспедиций.

Также, Распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 июня 2021г. № 1767–р был утвержден план мероприятий по реализации Стратегии развития деятельности Российской Федерации в Антарктике до 2030 года.

В настоящее время учеными и исследователями Российской Федерации используются семь круглогодично действующих полярных научно-исследовательских станций (одна расположена в центре материка, а остальные – по его периметру на побережье), на которых производится мониторинг показателей атмосферы, ведутся специальные исследования по медицинскому, геологическому, климатическому и метеорологическому направлениям, а также проходят тестирование новые технологии.

Станции расположены на значительном расстоянии друг от друга, а сообщение между ними налажено с помощью санно – гусеничных поездов. Применение авиационного транспорта, способного доставить грузы, личный состав и совершить посадку в данных условиях, ограничено несколькими месяцами в году из-за низких температур и большой вероятности обледенения плоскостей и фюзеляжа, с невозможностью дальнейшего взлета с ледового аэродрома.

Таким образом, обеспечение снабжения антарктических научно-исследовательских станций, особенно, топливом и горюче-смазочными материалами, продовольствием, крупногабаритным оборудованием, доставкой личного состава происходит, в основном, санно-гусеничными поездами [2]. Для этой цели использовались гусеничные снегоходные транспортеры «Изделие–404» (Харьковчанка), проекта 1958 года и продолжает использоваться «Изделие–404С» (Харьковчанка–2), проекта 1975 года, которые были выпущены ограниченной серией,

причем, по объективным и субъективным причинам проектирование и выпуск их усовершенствованных образцов в настоящее время не происходит [3–5].

Гусеничные транспортеры-тягачи, серийно выпускаемые заводами-изготовителями в Российской Федерации, могут эксплуатироваться в условиях Антарктических широт в основном, на ее побережьях, причем, отдельные модификации (такие как двухзвенные транспортеры-тягачи двойного назначения семейства ДТ-30) могут эксплуатироваться в условиях низких температур до минус 50° С, т.к. конструктивно имеют гидромеханическую трансмиссию, гидравлическое поворотное устройство двух звеньев, что накладывает определенные ограничения на их применение в условиях экстремально низких температур [6].

Зарубежные производители (Caterpillar, Rolligon, Foremost) выпускают, в основном, колесные, либо сочлененные гусеничные транспортеры-тягачи, также имеющие конструктивные температурные ограничения по своему применению в условиях экстремально низких температур.

В настоящее время исследователи этого сурового континента испытывают серьезные трудности ввиду отсутствия специально подготовленных и адаптированных для экстремальных условий эксплуатации транспортных средств для проведения внутриконтинентальных исследований и перевозки грузов по материке.

Поэтому, по мере увеличения масштабов исследований при изучении Антарктических территорий, а также в целях успешного выполнения, поставленных Правительством Российской Федерации задач и обновления транспортной базы, ученым и исследователям необходим современный гусеничный многоцелевой снегоходный транспортер-тягач, подготовленный и адаптированный для эксплуатации при экстремально низких температурах, в сложных дорожных, климатических и метеорологических условиях.

2 Анализ информационных источников

Климатические условия Антарктических широт характеризуются регулярными снежными бурями и сильным, практически непрерывным стоковым ветром со скоростью до 50 м/сек, из-за куполообразной конфигурации материка и разности температуры его поверхности и окружающего воздуха с экстремально низкими температурами (в некоторых районах ниже минус 80 °С) [7, 8]. При этом возникает большое количество снежно – ледяной пыли, снижающей горизонтальную видимость.

Также, отдельные области материка расположены на высоте более 3,5 км над уровнем моря, что способствует большой разреженности сухого воздуха и низкому атмосферному давлению. Значительная часть материка находится под постоянным ледниковым покровом, с большим количеством разломов, трещин, выступов, продолжительных подъемов и спусков. Наличие глубоких и неоднородных сыпучих снегов с низкой несущей способностью (0,25-0,8 бар), особенно, на равнинных участках, где переохлажденные кристаллы по прочности не уступают песку и сдвигаются в горизонтальной плоскости при соприкосновении с ним, создают высокое сопротивление движению неподготовленным для этого транспортным средствам [9].

А при большой удаленности полярных станций друг от друга обеспечение их жизнедеятельности представляет собой очень сложную задачу и актуальную проблему. Основным способом ее решения является доставка материальных средств и исследователей гусеничными снегоходными транспортными средствами, специально разработанными и адаптированными к эксплуатации в максимально неблагоприятных климатических условиях с экстремально низкими температурами. Наряду с этим, организация снабжения некоторых полярных станций возможна в минимально короткий летний период.

Экстремальные климатические условия антарктических широт требуют обеспечить высокий уровень качества узлов и агрегатов техники, максимальной надежности ее функционирования, доступности узлов и агрегатов при проведении технического обслуживания и выполнения ремонта. Также, должна быть обеспечена комфортная обитаемость экипажа в кабине и исследователей в жилом модуле, обзорность с рабочих мест механика-водителя, командира, штурмана [10].

Следует отметить, что до настоящего времени задача полного удовлетворения потребностей ученых и исследователей, работающих на Антарктических полярных научных станциях современными гусеничными снегоходными транспортерами-тягачами не решена.

В связи с этим возникла необходимость обоснования перспективной конструкции многоцелевого снегоходного гусеничного транспортера-тягача, определения рациональных параметров гусеничного движителя, механической трансмиссии, оптимального выбора силового агрегата, которые бы позволили обеспечить максимальные тяговые показатели при минимально возможном удельном расходе топлива. Это потребует научно-обоснованного применения уточненной методики расчета рациональных параметров и применяемых материалов для гусеничного движителя, способствующих увеличению тяговых показателей и показателя эффективности применения перспективного многоцелевого снегоходного гусеничного транспортера-тягача [11].

Важными составляющими в ходе проверки надежности образца являются проверка и оценка пусковых качеств силового двигателя, микроклимата в кабине управления и отсеках обитаемого отсека жилого модуля, определение эксплуатационного расхода горюче-смазочных материалов и специальных жидкостей при движении тягача по различным ледовым покрытиям (чистому, торосному и смешанному), по снежной целине с различной глубиной и плотностью, определения средних скоростей движения одиночного тягача и тягачей с пассивными санными прицепами в составе колонн, а также при буксировке условно вышедших из строя тягачей, доступности узлов и агрегатов при проведении контрольных осмотров, выполнения мероприятий по техническому обслуживанию и определения степени приспособленности к тягача ремонтным работам при экстремально низких температурах при сильном ветре, эффективность светового оборудования при освещении местности в ночное время, в пургу, в условиях минимальной видимости и возможности использования приборов ночного видения, надежности установленного дополнительного и вспомогательного оборудования.

Параметры движения гусеничного снегоходного транспортера-тягача по неоднородному снежному покрову определяются несколькими конструктивными и эксплуатационными факторами:

- массогабаритными характеристиками, наличием технологического (исследовательского) оборудования и перевозимого груза в прицепных пассивных санных системах;
- внешними характеристиками силового агрегата, с увеличенным запасом по крутящему моменту и возможностью обеспечить длительное движение с минимальными скоростями на низших передачах;
- характеристиками подвески и количеством, и типом опорных катков гусеничного движителя, с приложением крутящего момента к ведущим звездочкам без рывков.

Ходовая часть должна способствовать обеспечению маневренности и подвижности тягача на неоднородном и глубоком снежном покрове, максимально снизить вибрации корпуса тягача из-за перематывания гусеничных лент, высокую надежность с возможностью максимального восстановления силами экипажа в случае поломок.

Внешние силы, оказывающие значительное сопротивление движению гусеничного снегоходного транспортера-тягача представляют собой: силы сопротивления движению из-за вертикальной деформации снежной ОП гусеничным движителем; силы сопротивления движению из-за наличия бульдозерного эффекта, при деформации снежной ОП днищем корпуса тягача; силы сопротивления движению, возникающие при трении днища корпуса тягача по снежной ОП; силы сопротивления движению из-за налипания и последующем примерзании снега к элементам ходовой части и гусеничного движителя; силы сопротивления движению, возникающие за счет крюковой нагрузки, действующей от пассивного санного прицепа; силы сопротивления движению, возникающие от потока воздуха при ветровой нагрузке [12].

Максимальная грузоподъемность пассивного санного прицепа зависит от тяговых показателей гусеничного движителя тягача, которые будут определяться его рациональными параметрами и конструкцией, а также сложностью дорожных и климатических условий [13]. При буксировке пассивного санного прицепа внешние силы сопротивления движению будут зависеть от массы и габаритов перевозимого груза, рельефа местности, физико-механических

свойств снежной ОП, применяемых материалов для полозьев и их конструктивных параметров, характера и условий взаимодействия полозьев со снежной ОП и скорости движения тягача. При этом, на скорость движения тягача будут оказывать существенное влияние сила смятия снега под носками полозьев пассивного санного прицепа; сила среза снега кромкой носков полозьев пассивного санного прицепа; сила трения материала подошвы полозьев пассивного санного прицепа по снежной ОП; сила сопротивления перемещаемого объема снега при образовании колеи от полозьев пассивного санного прицепа [14].

В общем случае движения тягача по снежной ОП силы внешнего сопротивления будут обуславливаться следующими основными составляющими: сопротивлением со стороны снежного покрова, сопротивлением со стороны рельефа местности (при этом необходимо определить максимальное значение угла наклона санного прицепа к горизонту), сопротивлением со стороны ветровой составляющей, сопротивлением от сил инерции массы тягача. При скольжении полозьев пассивного санного прицепа по снежной и ледовой ОП на их поверхности, контактирующей с ОП, будет происходить образование влажной пленки, при этом, толщина ее будет зависеть как от величин сил трения, так и количества выделяемого при этом тепла, температуры снежной ОП и окружающего воздуха [15]. А величина коэффициента трения полозьев пассивного санного прицепа по снежной ОП будет зависеть от температуры окружающего воздуха, меняясь в зависимости от изменения ее агрегатного состояния. Минимальное значение величины коэффициента трения при этом будет при переходе снега из хрупкого в пластическое состояние.

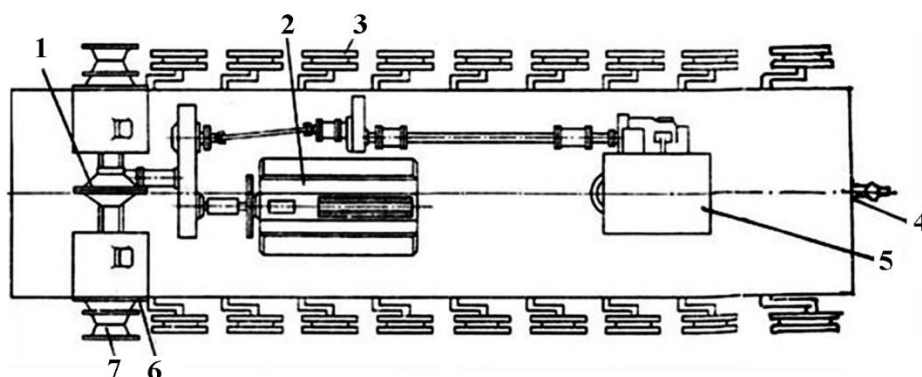
Необходимо учитывать действие потока воздуха (ветровой нагрузки), оказывающего значительное сопротивление, особенно, при фронтальной скорости более 6 м/с при перевозке массогабаритных грузов. В таких условиях происходит увеличение расхода топлива и снижаются тяговые показатели тягача вследствие уменьшения коэффициента сцепления гусеничного движителя с ОП. Величина коэффициента сопротивления движению санных прицепов по снежной ОП находится в пределах 0,01-0,50 и зависит от многих факторов. С увеличением плотности, жесткости и твердости снежного покрова величина коэффициента сопротивления движению санных прицепов незначительно снижается с образованием достаточно неглубокой колеи. При этом, на величину тягового сопротивления санных прицепов существенное влияние оказывает характер распределения груза на платформе прицепа. Наиболее выгодными координатами центра масс пассивного санного прицепа, в целях снижения сопротивления его движению, является точка, смещенная назад, по оси прицепа от его середины, на расстояние, равное 6-8 % от длины его полоза. А смещение координаты центра масс перевозимого в пассивном санном прицепе груза вперед или назад от этого положения, приведет к увеличению сопротивления его движению, причем, наиболее значительно, оно возрастет при смещении груза вперед.

Также, на проходимость, устойчивость при движении по различному рельефу местности и степень поворотливости гусеничного снегоходного транспортера–тягача существенное влияние оказывают координаты его центра масс, которые определяют характер распределения вертикальных нагрузок по опорным каткам гусеничного движителя. При этом, опорная проходимость тягача по ОП с низкой несущей способностью и снежной целине улучшается (уменьшается глубина колеи и снижается буксование гусениц при увеличении силы тяги), если центр давления гусениц на ОП смещен назад на 3-4% от среднего положения.

Положение центра масс тягача зависит от взаимного расположения центров масс ее корпуса и остальных узлов и агрегатов, размещенного исследовательского и технологического оборудования. При проведении расчетов по рациональной развесовке тягача необходимо размещать, по возможности, массо – габаритные узлы и агрегаты (силовой двигатель, основную лебедку, узлы и агрегаты трансмиссии) в наибольшем удалении от его центра масс, т.к. это будет способствовать увеличению момента инерции относительно действующих внешних поперечных сил, что улучшит плавность хода при уменьшении частоты колебаний корпуса тягача.

Компоновка трансмиссии снегоходного транспортера–тягача с различным расположением ведущих звездочек представлена на рис. 1, 2.

При переднем расположении ведущей звездочки и движении вперед будет натягиваться верхняя часть гусеничной ленты, а нижняя часть будет принимать форму рельефа ОП, создавая лучшее сцепление с ней при минимальных потерях тяговых показателей (рис. 1).



1 – механический редуктор; 2 – силовой двигатель; 3 – опорные катки;
4 – тягово-сцепное приспособление; 5 – основная лебедка; 6 – механизм поворота
и бортовые коробки передач; 7 – ведущие звездочки

Рисунок 1 – Компоновка механической трансмиссии с передней ведущей звездочкой

При движении гусеничной ленты к передним ведущим звездочкам происходит ее самоочистка, однако, есть большая вероятность ее схода с опорных катков, также, большая ее часть (кроме передней наклонной ветви) будет находиться под натяжением (тяговым усилием), способствуя ускоренному износу пальцев и проушин (отверстий) траков и максимальному нагружению направляющих колес. Такая конструкция способствует упрощению трансмиссии, причем, провисание гусеницы в передней части обеспечит наиболее плавное ее движение, вызывающее меньшую деформацию ОП.

При заднем расположении ведущей звездочки (рис. 2) и движении вперед будет создаваться провис верхней части гусеничной ленты и натяжение ее нижней части между ведущей звездочкой и разгруженным направляющим колесом, тяговое усилие не будет передаваться по верхней и передней (от ведущей звездочки до переднего опорного катка) ветви, что составит около половины длины гусеничной ленты. При этом возможно возникновение процесса буксования гусеничного движителя по ОП.

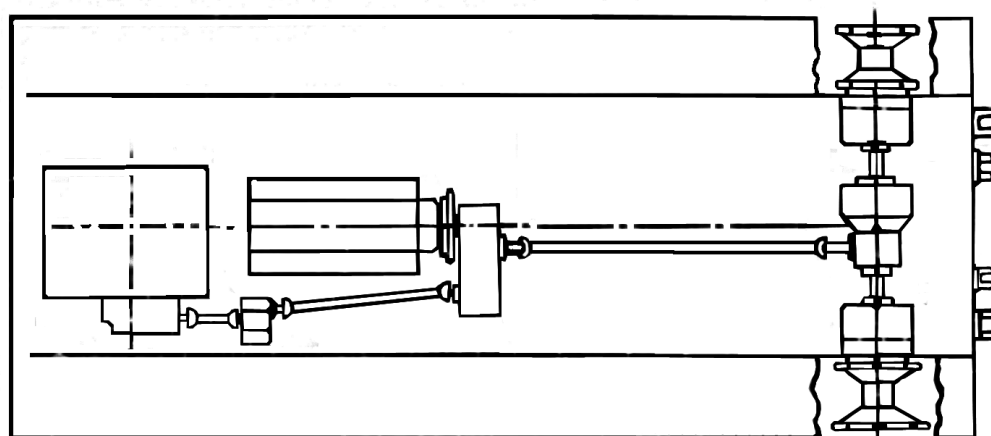


Рисунок 2 – Компоновка механической трансмиссии с задней ведущей звездочкой

Также, при такой компоновке механической трансмиссии, валы карданных передач будут занимать полезную площадь, которую возможно отвести под различное оборудование, что увеличит потери полезной мощности.

Бортовые коробки передач оптимально использовать 3...4-х ступенчатые, планетарные с переключением передач без разрыва потока мощности для снижения динамических нагрузок и массогабаритных характеристик.

Основными параметрами при выборе силового агрегата являются его значительный ресурс, надежность, удельная мощность, способность к запуску после предварительной подготовки в условиях экстремально низких температур, длительная работа на холостых оборотах и при движении на низших передачах. В качестве силового двигателя для снегоходного транспортера-тягача были рассмотрены четыре V-образных двенадцати-цилиндровых четырехтактных дизельных двигателя с жидкостным охлаждением, непосредственным впрыском топлива и турбонаддувом: В-92С2 [16], В-84МС, производства ООО «Челябинский тракторный завод-УРАЛТРАК» [17], ЯМЗ-847.10 и ЯМЗ-8401.10, производства ОАО «Автодизель» (Ярославский моторный завод) [18]. Основные характеристики указанных двигателей приведены в табл. 1.

Основной задачей при создании совершенного гусеничного движителя является повышение его долговечности функционирования в экстремально сложных условиях эксплуатации, т.к. он наиболее подвержен к выходу из строя по причине ускоренного износа под действием экстремально низких температур, т.е. все его элементы постоянно работают в чрезвычайно тяжелых условиях [18]. При этом, износ металлических (открытых и закрытых), резинometаллических шарниров траков гусениц, а также шаговый износ траков максимально снижает их ресурс [19].

Таблица 1 – Основные характеристики дизельных двигателей

Наименование параметра	В-92С2	В-84МС	ЯМЗ-847.10	ЯМЗ-8401.10
Масса, (кг)	1020	1020	2000	1840
Удельная мощность, (л.с./ кг)	0,98	0,82	н.д.	н.д.
Мощность при частоте вращения 2100 об/мин, кВт (л.с.)	736 (1000)	618 (840)	588 (800)	478 (650)
Удельный расход топлива, (г/л.с. час)	156	182	149	152
Рабочий объем, (л)	38,8	38,88	25,86	25,86
Длина, (мм)	1560	1560	1830	1910
Высота, (мм)	950	950	1220	1265
Ресурс, (м. час)	1200	н.д.	5000	10000
Максимальный крутящий момент, Нм (кгс. м)	3920 (400)	3089 (315)	3090 (315)	2450 (250)
Коэффициент приспособляемости (запас по крутящему моменту, %)	1,25 (25)	н.д. (18)	1,15 (15)	1,13 (13)

А удельное давление гусеничного движителя на ОП является самым основным параметром, характеризующим опорную проходимость тягачей, причем, их проходимость зависит от массы тягача, типа трансмиссии, ширины гусениц и типа шарниров траков, а также других факторов.

Целесообразно гусеничный движитель для снегоходного транспортера-тягача проектировать на основе мелкозвенчатых металлических траков, соединенных параллельными металлическими шарнирами открытого типа [20, 21].

При этом, увеличение подвижности тягача при движении по многолетнему льду и торосам возможно за счет удлинения активных участков гусеничной ленты [22], а также разнесения грунтозацепов и перекрытия зазора между траками [23].

Необходимо учитывать, что опорная проходимость гусеничных тягачей будет существенно ограничиваться величиной силы тяги по сцеплению с ОП, конфигурацией днища кор-

пуса (создающего бульдозерный эффект) и величиной клиренса. Однако, опорную проходимость гусеничных тягачей по слабонесущим грунтам и снежной ОП можно повысить при помощи уширения гусениц, т.е. с увеличением ширины штатных гусениц путем установки на них съемных уширителей различной конструкции.

Но, известные существующие металлические уширители гусениц выполнены с существенными недостатками, связанными со сложностью условий использования гусеничного движителя и изменением габаритных размеров [24]. Уширители гусениц, имеющие значительный консольный вылет и высокую жесткость, не имеют достаточной прочности, т.к. при наезде на единичные и твердые вертикальные препятствия часто преждевременно выходят из строя. В таких случаях возможен как сход гусеницы с опорных катков, так и распор гусеничного движителя, приводящий к повреждению бандажей опорных катков и выходу их из строя, и т.д. Также, громоздкие и металлоемкие съемные металлические уширители создают большие затруднения при их эксплуатации. Причем, при движении по недеформируемой ОП происходит ухудшение сцепления с ней гусеничных лент, снижая параметры движения тягача.

Кабина тягача, выполняющего длительные по времени переходы вглубь Антарктического континента, должна соответствовать требованиям эргономики и санитарным нормам, а окна должны обеспечивать максимальный угол обзора [25, 26]. Поэтому, нервно-эмоциональное напряжение механика – водителя и членов экипажа будет определяться многочисленными факторами: конструктивными особенностями тягача, расположением и исполнением органов управления и контрольных приборов, сложностью дорожной обстановки, наличием шума и вибраций от работы силового дизельного двигателя, механической трансмиссии, перематывании лент гусеничного движителя, интерьером кабины и ее цвето-фактурным исполнением. Для повышения эффективности деятельности механика – водителя при управлении гусеничным тягачом требуется провести оптимизацию параметров его рабочего места: применить анатомические сидения, способствующие оптимальной рабочей позе, расположить органы управления тягачом таким образом, чтобы не вызывать быструю утомляемость и усталость, контрольные приборы расположить в местах, обеспечивающих визуальный контроль показаний на панели приборов без перекрытия и др. При этом, необходимо учитывать как антропометрические особенности членов экипажа, так и психологические и физиологические.

Кабина с ровным полом будет способствовать обеспечению максимального комфорта рабочего места механика – водителя, по сравнению с кабиной, имеющей тоннель для органов управления.

При проектировании утепленной герметизированной кабины тягача возможно выполнить лобовое стекло как с положительным углом наклона, так и с отрицательным. Положительный угол наклона лобового стекла выполняют для снижения аэродинамического сопротивления от набегающего потока воздуха в целях экономии топлива и снижения потерь полезной мощности на движение тягача (рис. 3).



Рисунок 3 – Кабина с положительным наклоном лобового стекла

Отрицательный угол наклона лобового стекла. ухудшает аэродинамику и увеличивает сопротивление воздуха (рис. 4).



Рисунок 4 – Кабина с отрицательным наклоном лобового стекла

Но, с учетом габаритов и массы тягача, нарушение аэродинамики не имеет критического влияния на расход топлива и потери мощности, т.к. движение происходит на минимальных скоростях. При этом, сопротивление встречному потоку воздуха незначительное, особенно учитывая, какие нагрузки испытывает тягач за счет завихрений воздуха от сильного ветра, поэтому им можно пренебречь. Дополнительно возможно снижение налипания снега при ветровой нагрузке. Отрицательный угол наклона лобового стекла улучшает внутренний микроклимат в кабине, блокируя прямые солнечные лучи, при этом, улучшается обзорность, уменьшается воздействие солнечного света на механика-водителя, практически полностью исчезают блики, и, таким способом достигается минимум оптических искажений для глаз механика-водителя [27].

При эксплуатации аккумуляторных батарей (АКБ) в условиях низких температур повышаются требования к их размещению, утеплению и режиму заряда. Низкие температуры ограничивают штатную разрядную емкость АКБ, способствуя их постоянному недозаряду в связи с существующей обратной зависимостью увеличивающегося ее внутреннего сопротивления из – за снижения проводимости электролита и разряда АКБ. Также, под воздействием низких температур, уменьшается скорость диффузии ионов электролита и снижается его концентрация в порах активной массы пластин, способствуя уменьшению ее проводимости (снижая в целом электропроводность), и, повышая при этом вязкость электролита, что вызовет затруднения его проникновения в глубину слоев пор активной массы пластин. При увеличении внутреннего сопротивления АКБ произойдет усиление поляризации с дальнейшим образованием плотных мелкокристаллических осадков сульфата свинца и пассивирование отрицательного электрода.

3 Обобщение результатов исследований

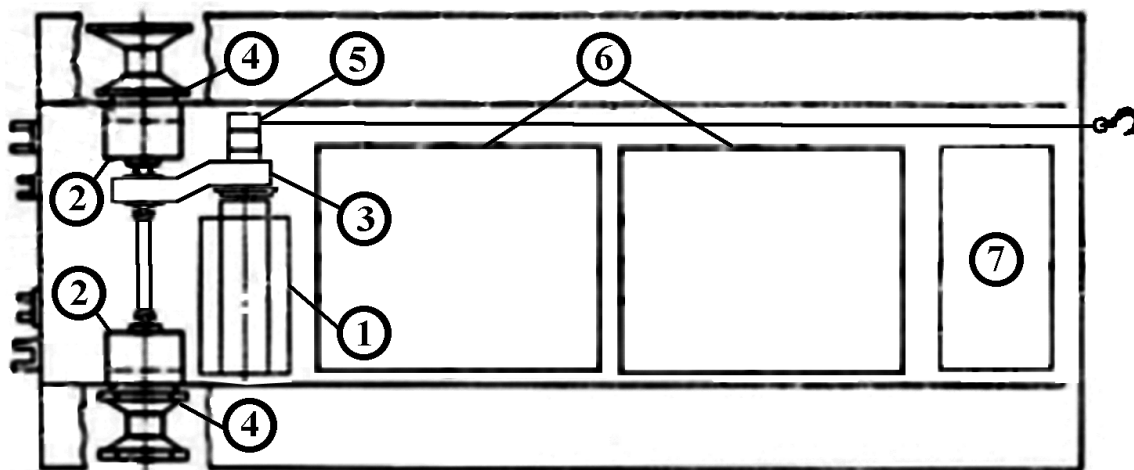
Этапы методики определения массогабаритных характеристик, центра масс, оптимального места расположения ведущих звездочек, рационального количества опорных катков, оптимальный выбор силового агрегата, определение потерь тяговой мощности, уточнение модели движения гусеничного снегоходного транспортера–тягача по характерному для данной местности маршруту, осуществление оценки эффективности предлагаемых новых технических решений возможно представить в несколько стадий.

Основные тактико-технические данные гусеничного снегоходного транспортера–тягача представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Основные массогабаритные характеристики

Наименование параметра	Величина
Полная масса, (т)	40
Вес буксируемого санного прицепа, (т)	70
Запас топлива, (л)	3000
Длина, (м)	10
Высота, (м)	4
Ширина, (м)	5
Колея, (м)	4,740
Длина опорной поверхности гусеницы, (м)	5,694

Предлагаемая схема компоновки гусеничного снегоходного транспортера–тягача с расположенным силовым агрегатом поперечно его продольной оси, маховиком в правую сторону, в моторно-трансмиссионном отсеке передней части герметичного полого корпуса, и расположенными в передней его части ведущими звездочками, позволит улучшить сцепление гусеничных лент с ОП, увеличить его тяговые показатели при минимальных потерях полезной мощности (рис. 5).



1 – двигатель; 2 – бортовая коробка передач; 3 – входной редуктор;
4 – бортовая передача; 5 – основная лебедка; 6 – топливные баки;
7 – масляный бак

Рисунок 5 – Компоновка гусеничного снегоходного транспортера–тягача

Такая компоновка трансмиссии будет способствовать упрощению механических приводов системы управления тягача при сокращении длины тяг, отказа от протяженных карданных передач со значительным числом шарнирных соединений, и снижению центра масс тягача.

Конструктивно, трансмиссия гусеничного тягача выполнена механической, со входным повышающим шестеренчатым редуктором, предназначенным для передачи крутящего момента от силового двигателя к двум бортовым планетарным коробкам передач и соосным бортовым редукторам, вентиляторов системы охлаждения силового двигателя, а также привода генератора переменного тока, воздушного компрессора, лебедки крана – стрелы (на рис. 5 условно не показаны) и основной реверсивной лебедки. При наличии низкооборотного силового двигателя и минимальных скоростях движения тягача входной редуктор может быть двухступенчатым, повышающим, с передаточными числами 1,2 и 1,8. Трансмиссия при этом обеспечит семь передач вперед и одну заднего хода. На нижней передаче будет происходить трогание тягача с места с пассивным санным прицепом, на верхних – движение.

Бортовые одноступенчатые коробки передач планетарного типа, с постоянным передаточным числом и механическим управлением. Осуществление поворота тягча будет происходить при включении пониженной передачи в коробке передач со стороны отстающей гусеницы. Привод тормоза механический, но, при этом обеспечивающий эффективное торможение и остановку тягча, удержание его на подъемах и спусках. Рычаги управления заменены на систему управления на основе штурвала.

Подвеска тягача индивидуальная, торсионная, с жесткими ограничительными упорами на первых, вторых, пятых, шестых и седьмых узлах подвески.

Механическая реверсивная тяговая лебедка (650–21–сб2) производства АО «Курганмашзавод», с длиной троса 100 м и приводом от повышающего редуктора, установлена в защитном кожухе на подрамнике в передней части рамы в моторно-трансмиссионном отсеке [28].

На тягаче планируется использовать в качестве силового агрегата дизель ЯМЗ–847.10 с наддувом от приводного центробежного компрессора и «сухим картером». Ввиду того, что принудительный наддув под давлением создает для механизмов и узлов двигателя дополнительные нагрузки, необходимо конструктивно усилить постели коренных подшипников коленчатого вала, увеличить жесткость блока цилиндров и обеспечить струйное масляное охлаждение днища поршней. Дизель должен быть оборудован вторым генератором переменного тока с выпрямителем для питания потребителей и дополнительным отключаемым объемным воздушным нагнетателем с двумя трехлопастными роторами [29]. Запуск дизеля возможен стартер–генератором СГ–18–1С или сжатым воздухом (в системе воздушного запуска необходимо предусмотреть два воздушных баллона емкостью по 5 л), либо комбинированным способом, используя обе системы [30]. Зарядка воздушных баллонов осуществляется приводным от повышающего редуктора трансмиссии поршневым трехступенчатым двухцилиндровым компрессором АК–150СВ воздушного охлаждения, с рабочим давлением 120–160 бар. Для облегчения пуска силового дизельного двигателя в условиях экстремально низких температур необходимо предусмотреть систему предварительного подогрева охлаждающей жидкости с возможностью подогрева головок блока цилиндров и стенок блока цилиндров, коренных опор коленчатого вала, обеспечить подогрев моторного масла жидкостным подогревателем с форсунками в масляном баке перед его прокачкой по системе смазки. При этом, силовой дизельный двигатель оборудуется электрофакельным устройством подогрева поступающего в цилиндры воздуха во впускных воздушных коллекторах. Подогрев дизельного топлива будет происходить в топливозаборниках расходных топливных баков, а также, как в нагнетательных, так и в обратных топливных магистралях, и в корпусах топливных фильтров. Избыточное давление в топливных магистралях будет принудительно создаваться ручным или электрическим топливоподкачивающими насосами. В качестве моторного масла возможно применение масла М – 3_з /12- Д (ГОСТ РВ 509920 – 2005), с температурой застывания минус 60 °С. В качестве охлаждающей жидкости возможно применение жидкости тосол А – 65 (ТУ 6 – 97.95 – 96), с рекомендуемой температурой применения до минус 65 °С. Также, предлагается использовать дизельное топливо марки ДТ АЗ – В – К5 (ГОСТ РВ 50920–2005), предназначенное для систем питания дизелей, с нижним температурным пределом до минус 65 °С (предельная температура фильтрации составляет минус 78 °С, а температура застывания составляет минус 80 °С) [31]. Предусмотрен фидер (розетка) типа ПС – 315 для пуска двигателя от внешнего источника электропитания.

Герметичный полый корпус тягача корытообразной формы, с продольными и поперечными выштамповками, обеспечивающими необходимую жесткость, оборудованный люками для проведения технического обслуживания (рис. 6).

Кроме силового двигателя, узлов и агрегатов трансмиссии, вспомогательных агрегатов, в нем размещены топливные баки с подогревом топливозаборников и топливопроводов, масляный бак и два воздушных нагревателя.

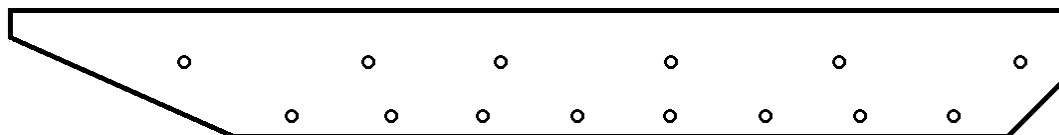


Рисунок 6 – Герметичный полый корпус тягача (вид сбоку)

На переднем листе корпуса расположены буксирные крюки с защелками и две опоры крана – стрелы. В кормовой части корпуса установлено буксирное приспособление и окно выхода троса основной реверсивной лебедки.

Гусеничный движитель для снегоходного транспортера–тягача, многократно апробированный и испытанный в различных режимах и условиях движения предлагается заимствовать у серийного основного танка Т–90 (исходная ширина колеи 2790 мм, число траков – 81, длина опорной поверхности гусеничной ленты – 4270 мм, среднее удельное давление на ОП – 0,938 бар). Движитель имеет установленную в передней части корпуса ведущую звездочку, индивидуальную торсионную подвеску, удлиннен на два опорных катка с наружной амортизацией (до восьми с каждой стороны) из условий выбранных габаритов тягача и на один поддерживающий каток – до четырех, с расширенными гусеничными лентами (при исходной ширине гусеницы 580 мм) комбинированными уширителями 870 мм (рис. 7).

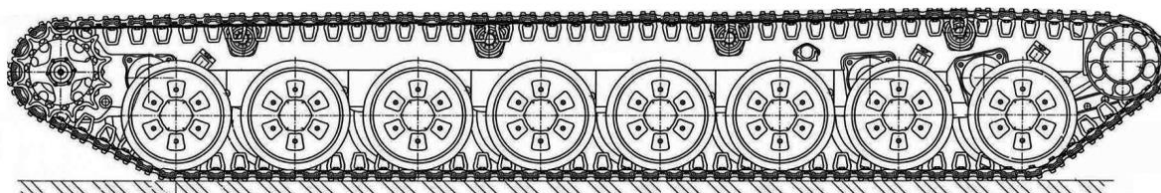


Рисунок 7 – Гусеничный движитель транспортера–тягача

Поддерживающие катки верхней ветви гусеничной ленты [32] будут способствовать уменьшению суммарных углов поворота траков относительно друг друга, снижая потери полезной мощности двигателя и тяговой мощности, повышая ее надежность, а также исключат удары гусеничной ленты о корпус тягача [33]. Расчетное среднее удельное давление снегоходного транспортера-тягача на ОП будет в пределах 0,35 бар. Отношение длины опорной поверхности гусениц к ее колее при проектировании тягачей представляет собой одно из главных конструктивных ограничений, и, составляет 1,2:1, причем, данный параметр должен находиться в оптимальных пределах 1:1-1,8:1 [34]. Указанный предел зависит, в основном, от механических и профильных свойств ОП, и, определяется как отношение внешних сил сопротивления боковому сдвигу от действия гусеничного движителя к развиваемому им тяговому усилию. При этом, осуществление поворота гусеничного тягача на слабонесущих ОП будет происходить при снижении силы тяги с возможной последующей полной потерей его подвижности.

Для повышения показателей проходимости снегоходного транспортера–тягача возможно использовать, например, эластичные уширители, с необходимыми зазорами между ними, выполненные из морозостойких материалов, армированной кордом, для которых существуют зависимости его прогибов от его геометрических размеров (длины, поперечного сечения), числа слоев, а также типа и схемы укладки корда [35-37]. Возможно получить необходимую жесткость уширителей гусеничных лент при рациональном выборе их геометрических размеров и использования современных армирующих материалов в целях исключения их изгибов, создающих помехи для движения.

Применение эластичных уширителей будет способствовать увеличению площади контакта гусеничных лент с ОП, причем, с уменьшением вероятности их выворачивания при преодолении единичных препятствий (камней, ледяных обломков и т.д.) [19].

Основным показателем материалов для гусеничных траков является вязкость при низких температурах и способность сопротивляться хрупкому разрушению при острой или полукруглой трещине (СЕ СЭВ 1157–78). Для Антарктических условий в целях минимизации хладоломкости материалов рекомендуется применять стали 12Г2СМФ и 12ГН2МФА с пределом прочности 600 и 750 МПа соответственно и рабочей температурой минус 80 – минус 100 °С [38]. Для таких сталей необходимо определять нижнюю критическую температуру хрупкости, ниже которой скорость разрушения контролируется разрывом межатомных связей на всех стадиях разрушения, и верхнюю критическую температуру, выше которой скорость разрушения контролируется пластической деформацией на всех стадиях разрушения [39]. Резьбовые соединения на основе трубной резьбы с полукруглыми вершинами и впадинами без концентраторов напряжений с чистовой обработкой.

Герметичная кабина управления установлена в передней части корпуса тягача отдельно от жилого модуля, лобовые стекла составные, из трех частей, с отрицательным наклоном, имеют электрический обогрев и обдуваются горячим воздухом (рис. 8).

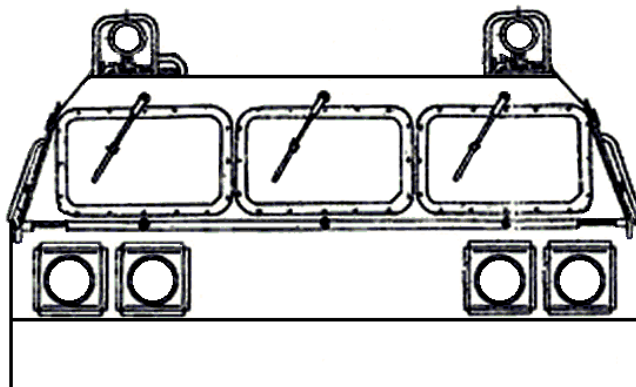


Рисунок 8 – Герметичная кабина управления

На крыше кабины, с правой стороны, оборудован запасной эвакуационный выход. Крыша кабины, пол, стенки и двери имеют дополнительное комбинированное утепление. Три анатомических сиденья (для механика – водителя и двух членов экипажа) выполнены с подогревом. За каждым сидением размещены комплекты приборов ночного видения ПНВ – 57Е (ПНВ – 10Т), а над ними с предусмотрены индивидуальные плафоны освещения. На передней панели перед сиденьями двух членов экипажа размещены откидные столики и переговорное устройство с жилым модулем. Отопление кабины осуществляется отопителями двух типов: калориферным, работающим совместно с системой охлаждения силового двигателя и автономным воздушным (ОВ – 4Д, ОВ – 8Д, ОВ – 65, ОВ – 95). Контрольно – измерительные приборы, отражающие состояние и работу систем, узлов и агрегатов заимствованы у танка Т–90. Применение жидкокристаллических дисплеев, панелей из-за условий эксплуатации тягача не планируется. В средней части кабины слева и справа установлены по две фары, по бокам крыши установлены фары – искатели.

Жилой модуль для длительного обитания экипажа вагонного типа (длиной 6,5 м и высотой 2,4 м) выполнен отдельно от кабины, но, с возможностью доступа в нее через лаз в передней части справа, с многослойной комбинированной теплоизоляцией и герметизацией швов, что позволит температуре в жилых блоках при полном отсутствии отопления снижаться на один–три градуса в сутки.

Комбинированная теплоизоляция стен, потолка и пола может быть выполнена из экструдированного пенополистирола, который закладывается в полости, далее идет слой влагостойкой фанеры, далее панели из алюминиевого композита. Сэндвич – панели (капсулы) достаточно качественная с точки зрения сохранения тепла теплоизоляция, способна длительное время сохранять заданную температуру в жилом модуле. Также, утепление кабины управления можно выполнить с помощью пенофола и изолонa, не накапливающих воду и не подверженных гниению.

Корпус жилого модуля выполнен на основе технологий и материалов, применяемых в авиастроении при производстве фюзеляжей пассажирских летательных аппаратов. Площадь обитаемых отсеков составит 30 м², высота потолка – 2,5 м, что позволит разместить 6 спальных мест (размер полки 2x0,7x0,15 м), рабочие места штурмана и радиста, кают – компанию и рабочую зону, аппаратные помещения, кладовую и вспомогательные помещения, санузел, камбуз, сушильное помещение, тамбур, отсек для дополнительного источника электрической энергии (дизель-генератор), а также другое оборудование (рис. 9).

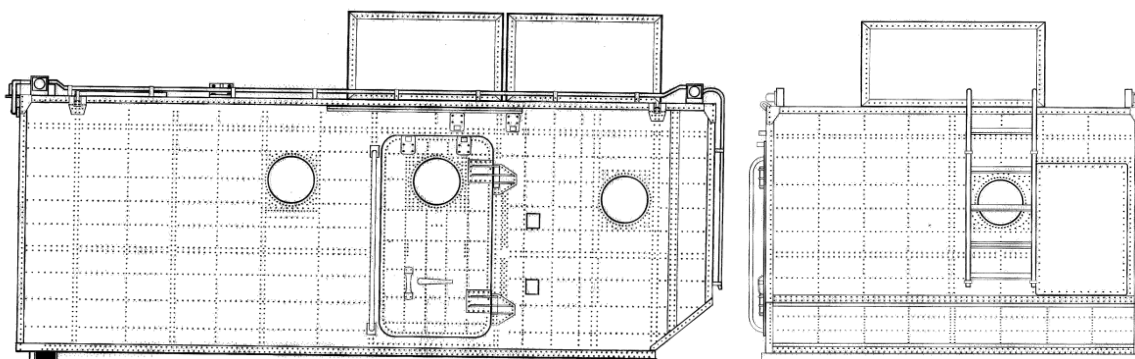


Рисунок 9 – Герметичный жилой модуль тягача

Жилой модуль оборудован герметичными открывающимися двойными иллюминаторами (два в передней части, один сзади и по три с каждой стороны) с влагопоглотителями и возможностью их обдува подогретым воздухом. Входная дверь и тамбур расположены с левой стороны по ходу движения тягача. На крыше оборудован запасной эвакуационный выход и установлены металлические ящики для запасных узлов и агрегатов, крепления для антенны и перевозимого имущества, а также крепления для крана – укосины.

Отопление отсеков модуля будет обеспечено двумя воздушными нагревателями (теплогенераторами), производительностью не менее 200 м³/час, расположенными в задней части герметичного корпуса, с возможностью подачи горячего воздуха в жилые и рабочие отсеки, а также, индивидуально к санитарно-бытовому оборудованию, иллюминаторам и сливным технологическим отверстиям. Для автономной работы экипажа жилой модуль оснащен умывальником с гидрозатвором Г-2, унитазом УК-2-1 со сливной панелью ПС-2, емкостью для мусора [40]. Повседневную эксплуатацию туалета обеспечат системы водоснабжения (два водяных бака емкостью по 20 л, трубопроводов с запорной арматурой, сливной насадок НС2-115М) и система удаления отходов. В помещении камбуза установлены шкафы для размещения консервированных продуктов, имущества, электроплита ПЭС-200/15, снегоплавильная установка с минерализатором, универсальный кипятильник КУ-200-2С и емкости для воды. Освещение отсеков осуществляется потолочными плафонами и лампами местного освещения. Для защиты экипажа от поражения электрическим током жилой модуль оборудован блоком защиты. Для связи экипажа, находящегося в жилом модуле с механиком – водителем в кабине, предусмотрено переговорное устройство и установлена кнопка «сигнал механику – водителю».

Радионавигационное оборудование и аварийные источники связи авиационные, размещены в отдельном отсеке жилого модуля.

Система электрооборудования однопроводная, напряжением 24 В, с возможностью преобразования напряжения в 12 В, 27 В и 115 В. В конструкции тягача предусмотрен обогреваемый аккумуляторный отсек с подогревом четырех рабочих (два АКБ для силового двигателя и два для жилого модуля) и четырех резервных АКБ, что предотвращает вероятность замерзания электролита и снимает ограничения по коэффициенту запаса номинальной емкости относительно разрядной. Для обогрева АКБ предусмотрен подогреватель АПЖ – 5. Там же установлена универсальная пуско – зарядная установка Э411М-220 В с розеткой внешнего пуска силового двигателя ПС 315 и энергоблок с накопителями энергии – модуль суперконденсаторов (ионисторов) производства ОАО «Элеконд» (г. Сарапул), его применение позволит продлить срок службы АКБ, обеспечить надежный пуск силового двигателя. Исходя из конструктивного наличия силового дизельного двигателя большого литрового объема и с увеличенной мощностью, а также энергоемкой системы отопления отсеков обитаемого жилого модуля и кухонного оборудования с большой энергоемкостью, и, в целях обеспечения возможности проведения сварочных работ, в качестве дополнительного источника электрической энергии планируется использовать дизель–генератор постоянного тока (мощностью 10 кВт), в климатическом исполнении «ХЛ» (ГОСТ 15150-69), причем, с возможностью привода воздушного компрессора и генератора 4ПНГ225S (115В) [41]. Для производства подъемно – транспортных работ в передней части тягача установлены две опоры нижней части крана – стрелы грузоподъемностью 2 т, а внутри герметичного полого корпуса закреплена лебедка ее механического привода от повышающего редуктора (рис. 10).

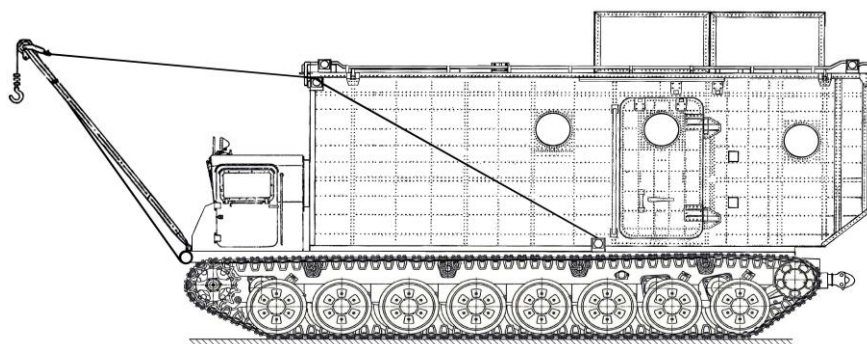


Рисунок 10 – Размещение крана – стрелы на тягаче

Верхняя его часть с помощью растяжек крепится к специальным крюкам по бокам в задней части жилого модуля. В транспортном положении кран – стрела укладывается и закрепляется на крыше жилого модуля. Также, предусмотрен кран – укосина грузоподъемностью 0,2 т, с ручным приводом и цепным механизмом подъема, закрепленный на крыше жилого модуля в задней его части и комплект захватов для агрегатов [42, 43].

В качестве дополнительного оборудования тягач должен быть укомплектован дополнительным оборудованием и приспособлениями: одиночным возимым комплектом запасных частей, водительским и шанцевым инструментом, принадлежностями и приспособлениями, сварочными аппаратами, переносным электрическим компрессором низкого давления, паяльными лампами, дополнительными тросами.

4 Формулирование научно-технического проблемного вопроса дальнейших исследований (проблемы), концепции и задач исследования

Таким образом, антарктическое направление является наиболее сложным для применения снегоходных гусеничных транспортеров-тягачей в связи с полным отсутствием дорог и колонных путей, наличия неоднородной и высокой снежной ОП, неблагоприятной для движе-

ния ледовой обстановки, уменьшенной продолжительности светлого времени суток, воздействия на технику экстремально низких температур и других природно-климатических особенностей материка, существенно ограничивающих их применение. В качестве приоритетных направлений дальнейшего развития и усовершенствования снегоходных гусеничных транспортеров – тягачей можно выделить увеличение показателей автономности (по длительности переходов), простоты конструкции, высокой надежности и работоспособности узлов и агрегатов, стабильного и высокого жизнеобеспечения членов экипажа в условиях экстремально низких температур, ремонтпригодности основных узлов и агрегатов и сохранения подвижности тягача при эксплуатации в экстремальных условиях. На основании вышесказанного, существует несколько приоритетных направлений при проектировании перспективных снегоходных гусеничных транспортеров-тягачей, максимально адаптированных и специально подготовленных для эксплуатации при экстремально низких температурах, в сложных дорожных, а также суровых климатических и метеорологических условиях:

- применение специальных сталей для траков гусениц, в целях эффективной работы в условиях экстремально низких температур;

- применение термостойких материалов и эффективных средств комбинированной теплоизоляции и ветрозащиты кабины управления, обитаемого жилого модуля, отсека силового двигателя, мест размещения узлов и агрегатов трансмиссии, элементов системы электрооборудования;

- обеспечение подогрева топливных и масляных баков, топливных нагнетательных и обратных магистралей, а также другого вспомогательного оборудования;

- использование высокоэффективных тепло-генераторов для обеспечения высокой готовности к пуску и поддержания рабочем состоянии силового дизельного двигателя, а также имеющихся других узлов и агрегатов;

- применение аккумуляторных батарей с длительным и форсированным подогревом, а также использование эффективных накопителей электрической энергии;

- применение специальных технических жидкостей, обеспечивающих возможность эксплуатации в экстремальных условиях;

- обеспечение надежной и бесперебойной работы вспомогательного и дополнительного оборудования климатического исполнения «ХЛ».

Также, условия Антарктического региона требуют проведения дополнительных мероприятий по подготовке всех основных агрегатов, узлов и систем гусеничного тягача для эксплуатации в экстремальных условиях, т.к. проведение технического обслуживания и ремонта будет затруднено из-за опасности обморожения членов экипажа и неудобства выполнения работ в зимней одежде. Предлагаемый в данной статье гусеничный тягач для эксплуатации в экстремальных климатических условиях может служить базой, на которую вместо жилого модуля можно смонтировать модули другого назначения: лабораторно-исследовательский, энергетический, ремонтную мастерскую, а также установить грузовую платформу. Данная проблема является актуальной и требует проведения дальнейших исследований и апробации новых технических и конструктивных научно-обоснованных решений в целях получения практического опыта по эксплуатации и ремонту гусеничных снегоходных тягачей в экстремальных условиях эксплуатации.

Список литературы

- 1 Грушинский Н.П., Дралкин А.Г. Антарктида / Н.П. Грушинский, А.Г. Дралкин. – М.: Недра. 1988. – 199 с.
- 2 Санин, В. М. Новичок в Антарктиде / В. М. Санин. – М.: Молодая гвардия. – 1973. – 91 с.
- 3 Корабли Антарктиды // Техника молодежи. – 1959. – № 3. – С. 22 – 25.
- 4 Липатов, В. А. Харьковчанка / В.А. Липатов // Техника молодежи. – 2016. – № 6. – С. 18 – 19.
- 5 Воронов, С.В. Антарктический крейсер / С.В. Воронов // М – Хобби. – 2023 – № 6 (264). – С. 34 – 42.
- 6 Вооружение и военная техника России. Каталог. М.: Этника, 2023. – 592 с.

7 Справочник по климату Антарктиды. Температура воздуха. Атмосферное давление, ветер. Влажность воздуха, облачность. Осадки, атмосферные явления. Видимость. Т. 2. Главное управление гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР, Арктический и антарктический НИИ / Под ред. д-ра геогр. наук И. М. Долгина. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. – 492 с.

8 Справочник по климату Антарктиды. Статистические характеристики временной структуры температуры воздуха, атмосферного давления и скорости ветра. Т. 3 / Под ред. канд. геогр. наук Л. С. Петрова и Н. В. Колосовой. 1981. – 271 с.

9 Рихтер, Г.Д. Снежный покров, его формирование и свойства / Г.Д. Рихтер. – М.: Издательство Академии наук. – 1945. – 120 с.

10 Савельев Н.Г., Покутний В.В., Розновская Л.С. Системы обеспечения готовности образцов военной автомобильной техники к применению по назначению в арктической климатической зоне / Н.Г. Савельев, В.В. Покутний, Л.С. Розновская // Военная мысль. – 2022. – № 2. – С. 104–116.

11 Лелиовский К.Я., Молев Ю.И., Каретникова М.П. Определение остаточного ресурса агрегатов трансмиссии транспортно-технологических машин, эксплуатирующихся в условиях Крайнего Севера / К.Я. Лелиовский, Ю.И. Молев, М.П. Каретникова // Воронежский научно-технический вестник. – 2023. – № 1(43). – С. 71–82.

12 Барахтанов Л.В., Ершов В.И., Рукавишников С.В., Куляшов А.П. Снегоходные машины / Л.В. Барахтанов, В.И. Ершов, С.В. Рукавишников, А.П. Куляшов. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во. – 1986. – 191 с.

13 Шишкин В.В. Проходимость лыж / В.В. Шишкин // Труды совещания по проходимости колесных и гусеничных машин по целине и грунтовым дорогам. – М.: Издательство АН СССР. 1950. – С. 338–344.

14 Волков А.Е., Янкин В.М., Цуцоев В.И. Особенности эксплуатации тракторов зимой / А.Е. Волков, В.М. Янкин, В.И. Цуцоев. – М.: Колос. – 1975. – 128 с.

15 Бережнов, Н.Г. Исследование некоторых факторов, влияющих на сопротивление санных поездов: Автореферат дис... канд. техн. наук: 05.00.00 / Н.Г. Бережнов – Челябинск. – 1960. – 26 с.

16 Двигатель В-92С2. Инструкция по эксплуатации. 92С2ИЭ. – КМЦ. – 1992. – 60 с.

17 Дизель В-84М (В-84, В-84-1). Техническое описание. – М.: ВИ МО СССР. – 1991. – 132 с.

18 Двигатели для военной техники ЯМЗ. – ОАО «Автодизель» (Ярославский моторный завод). – 2016. – 31с.

19 Аникин А.А. Обоснование работоспособности гусениц с эластичными уширителями // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. Вып. 8 [Электронный ресурс]. – 2010. – URL: <http://technomag.edu.ru/doc/160285.html>. (дата обращения 27.05.2024).

20 Павлов М.В., Павлов В.И. Отечественные бронированные машины 1945–1965 гг. / М.В. Павлов, В.И. Павлов // Техника и вооружение. – 2010. – № 4 – С. 47–60.

21 Добрецов Р.Ю., Семенов А.Г. Гусеницы боевых машин для Арктических условий / Р.Ю. Добрецов, А.Г. Семенов // Леса России и хозяйство в них. – 2012. – № 1–2 (42–43). – С. 34–35.

22 Добрецов Р.Ю., Семенов А.Г. О снижении перепадов нагрузки на опорное основание при качении гусеничного движителя / Р.Ю. Добрецов, А.Г. Семенов // Экология и промышленность России. – 2009. – № 5. – С. 46–49.

23 Добрецов Р.Ю. Особенности работы гусеничного движителя в области малых удельных сил тяги / Р.Ю. Добрецов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2009. – № 6. – С. 25–31.

24 Аникин А.А. Повышение проходимости гусеничных машин по снегу за счет применения эластичных уширителей гусениц. Дисс...канд. техн. наук: 05.05.03 / А.А. Аникин. – Н. Новгород, 2000. – 169 с.

25 ССБТ. Кабина. Рабочее место водителя. Расположение органов управления грузовых автомобилей, автобусов и троллейбусов. Основные размеры. Технические требования: ОСТ 37.001.413986. – М.: Министерство автомобильной промышленности, 1986. – 12 с.

26 Степанов И.С., Евграфов А.Н., Карунин А.Л., Ломакин В.В., Шарипов В.М. Автомобили и тракторы. Основы эргономики и дизайна / И.С. Степанов, А.Н. Евграфов, А.Л. Карунин, В.В. Ломакин, В.М. Шарипов. – М.: МГТУ МАМИ. – 2002. – 230 с.

27 Тарасов Л.В., Тарасова А.Н. Беседы о преломлении света / Л.В. Тарасов, А.Н. Тарасова. – М.: ЛКИ (Издательская группа УРСС). 2008. – 176 с.

28 Средний артиллерийский тягач АТС-59Г. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – 5-е изд., стереотип. – М.: Воениздат. – 1984. – 469 с.

- 29 Хак Г.Л. Турбодвигатели и компрессоры. Справочное пособие / Г.Л. Хак. – М.: ООО Издательство АСТ. 2003. – 351 с.
- 30 Суворов С.В. Т-90. Первый серийный Российский танк / С.В. Суворов // ТанкоМастер. Техника молодежи. Восточный горизонт. – 2002. – Спецвыпуск. – 56 с.
- 31 ГОСТ РВ 50920-2005 Топлива, масла, смазки и специальные жидкости. Ограничительный перечень и порядок назначения для вооружения и военной техники. – М.: Стандартинформ, – 2015. – 35 с.
- 32 Антонов А. С., Артамонов Б. А., Коробков Б. М., Магидович Е. И. Поддерживающие катки / А.С. Антонов, Б.А. Артамонов, Б.М. Коробков, Е.И. Магидович. – М.: Воениздат. 1954. – 607 с.
- 33 Поддерживающий ролик. [Электронный ресурс]. – URL: <http://army-guide.com>rus/article/article.789.html>. (дата обращения: 29.05. 2024).
- 34 Селиванов И.И. Автомобили и транспортные гусеничные машины высокой проходимости / И.И. Селиванов. – М.: Наука. 1967. – 272 с.
- 35 Барахтанов Л.В., Ершов В.И., Рукавишников С.В., Куляшов А.П.. Снегоходные машины / Л.В. Барахтанов, В.И. Ершов, С.В. Рукавишников, А.П. Куляшов. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во. 1986. – 191 с.
- 36 Барахтанов Л.В. Повышение проходимости гусеничных машин по снегу: Дисс...докт. техн. наук: 05.05.03 / Л.В. Барахтанов. – Горький, – 1988, 352 с.
- 37 Аникин А.А., Барахтанов Л.В., Донато И.О. Проходимость гусеничных машин по снегу / А.А. Аникин, Л.В. Барахтанов, И.О. Донато.– Н.Новгород. 2009. – 362 с.
- 38 Арзамасов Б.Н., Соловьева Т.В., Герасимов С.А. и др. Справочник по конструкционным материалам / Б.Н. Арзамасов, Т.В. Соловьева, С.А. Герасимов и др.– М.: Издательство МГЛУ им. Баумана. 2005. – 640 с.
- 39 Иванова В.С. Разрушение металлов / В.С. Иванова – М.: Metallurgia. 1979. – 168 с.
- 40 Самолет ИЛ-76ТД. Инструкция по технической эксплуатации. Ч. 3. Гл. 36, 37. Системы планера. Бытовое оборудование. Водоснабжение и удаление отходов. – 201 с.
- 41 ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнение для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – М.: Стандартинформ, 2010. – 85 с.
- 42 Мастерские технического обслуживания МТО–АТ. Руководство по эксплуатации. – М.: Воениздат. 2000. – 430 с.
- 43 Подвижные средства технического обслуживания и ремонта военной автомобильной техники: учебное пособие. – Рязань: РВВДКУ (ВИ). 2012. – 130 с.

References

- 1 Grushinsky N.P., Dralkin A.G. Antarctica / N.P. Grushinsky, A.G. Dralkin. - M.: Nedra. 1988. - 199 p.
- 2 Sanin, V. M. Newbie in Antarctica / V. M. Sanin. - M.: Molodaya Gvardiya. - 1973. - 91 p.
- 3 Ships of Antarctica // Technology of the youth. - 1959. - No. 3. - P. 22 - 25.
- 4 Lipatov, V. A. Kharkovchanka / V.A. Lipatov // Technology of the youth. - 2016. - No. 6. - P. 18 - 19.
- 5 Voronov, S.V. Antarctic cruiser / S.V. Voronov // M - Hobby. – 2023 – No. 6 (264). – P.34 – 42.
- 6 Armament and military equipment of Russia. Catalog. Moscow: Ethnika, 2023. – 592 p.
- 7 Handbook of the climate of Antarctica. Air temperature. Atmospheric pressure, wind. Air humidity, cloudiness. Precipitation, atmospheric phenomena. Visibility. Т. 2. Main Directorate of the Hydrometeorological Service under the Council of Ministers of the USSR, Arctic and Antarctic Research Institute / Ed. by Dr. of Geogr. Sciences I. M. Dolgin. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977. – 492 p.
- 8 Handbook of the climate of Antarctica. Statistical characteristics of the temporal structure of air temperature, atmospheric pressure and wind speed. Т. 3 / Ed. by Cand. of Geogr. sciences L. S. Petrov and N. V. Kolosova. 1981. - 271 p.
- 9 Richter, G. D. Snow cover, its formation and properties / G. D. Richter. - M. : Publishing House of the Academy of Sciences. - 1945. - 120 p.
- 10 Saveliev N. G., Pokutniy V. V., Roznovskaya L. S. Systems for ensuring the readiness of military automotive equipment for use as intended in the Arctic climatic zone / N. G. Saveliev, V. V. Pokutniy, L. S. Roznovskaya // Military Thought. - 2022. - No. 2. - P. 104 - 116.

- 11 Leliovsky K. Ya., Molev Yu. I., Karetnikova M. P. Determination of the residual resource of transmission units of transport and technological machines operated in the Far North / K.Ya. Leliovsky, Yu.I. Molev, M.P. Karetnikova // *Voronezh Scientific and Technical Bulletin*. - 2023. - No. 1 (43). - P.71-82.
- 12 Barakhtanov L.V., Ershov V.I., Rukavishnikov S.V., Kulyashov A.P. Snowmobile vehicles / L.V. Barakhtanov, V.I. Ershov, S.V. Rukavishnikov, A.P. Kulyashov. - Gorky: Volgo-Vyatka book publishing house. - 1986. -191 p.
- 13 Shishkin V.V. Cross-country ability of skis / V.V. Shishkin // *Proceedings of the conference on the cross-country ability of wheeled and tracked vehicles on virgin soil and dirt roads*. - Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences. 1950. - P. 338-344.
- 14 Volkov A.E., Yankin V.M., Tsutsoev V.I. Features of tractor operation in winter / A.E. Volkov, V. M. Yankin, V. I. Tsutsoev. - M.: Kolos. - 1975. - 128 p.
- 15 Berezhnov, N. G. Study of some factors influencing the resistance of sled trains: Abstract of diss... Cand. of Engineering Sciences: 05.00.00 / N. G. Berezhnov -Chelyabinsk. - 1960. - 26 p.
- 16 Engine V-92S2. Operating instructions. 92S2IE. - KMC. - 1992. - 60 p.
- 17 Diesel V-84M (V-84, V-84-1). Technical description. - M.: VIMO USSR. - 1991. - 132 p.
- 18 Engines for military equipment YaMZ. - OJSC "Avtodiesel" (Yaroslavl Motor Plant). – 2016. – 31s.
- 19 Anikin A.A. Justification of the performance of tracks with elastic wideners // *Science and education: electronic scientific and technical publication*. Issue. 8 [Electronic resource]. – 2010. – URL: <http://technomag.edu.ru/doc/160285.html>. (date of access 05/27/2024).
- 20 Pavlov M.V., Pavlov V.I. Domestic armored vehicles 1945-1965 / M.V. Pavlov, V.I. Pavlov // *Equipment and weapons*. – 2010. – No. 4 – P. 47–60.
- 21 Dobretsov R.Yu., Semenov A.G. Tracks of combat vehicles for Arctic conditions /R.Yu. Dobretsov, A.G. Semenov // *Forests of Russia and their management*. - 2012. - No. 1 - 2 (42 - 43). - P. 34 - 35.
- 22 Dobretsov R. Yu., Semenov A. G. On reducing load differences on the support base during rolling of a caterpillar mover / R. Yu. Dobretsov, A. G. Semenov // *Ecology and Industry of Russia*. - 2009. - No. 5. - P. 46 - 49.
- 23 Dobretsov R. Yu. Features of the caterpillar mover operation in the region of low specific traction forces / R. Yu. Dobretsov // *Tractors and agricultural machinery*. - 2009. - No. 6. - P. 25 - 31.
- 24 Anikin A. A. Increasing the cross-country ability of tracked vehicles on snow due to the use of elastic track wideners. Diss... Cand. Tech. Sciences: 05.05.03 / A.A. Anikin. - N. Novgorod, 2000. - 169 p.
- 25 SSBT. Cabin. Driver's workplace. Location of controls of trucks, buses and trolleybuses. Main dimensions. Technical requirements: OST 37.001.413986. - M.: Ministry of Automobile Industry, 1986. - 12 p.
- 26 Stepanov I.S., Evgrafov A.N., Karunin A.L., Lomakin V.V., Sharipov V.M. Cars and tractors. Fundamentals of ergonomics and design / I.S. Stepanov, A.N. Evgrafov, A.L. Karunin, V.V. Lomakin, V.M. Sharipov. – M.: MSTU MAMI. – 2002. – 230 p.
- 27 Tarasov L.V., Tarasova A.N. Conversations about the refraction of light / L.V. Tarasov, A.N. Tara the owl. – M.: LKI (URSS Publishing Group). 2008. – 176 p.
- 28 Medium artillery tractor ATS-59G. Technical description and operating instructions. – 5th ed., stereotype.– M.: Voenizdat. – 1984. – 469 p.
- 29 Hak G.L. Turbo engines and compressors. Reference manual / G.L. Hak. – M.: OOO Publishing House AST. 2003 . – 351 p.
- 30 Suvorov S.V. T-90. The first serial Russian tank / S.V. Suvorov // *Tanko-Master. Equipment of youth*. Eastern horizon. – 2002. – Special issue. – 56 p.
- 31 GOST RV 50920-2005 Fuels, oils, lubricants and special liquids. Restrictive list and order of appointment for weapons and military equipment. - M.: Standartinform, - 2015. - 35 p. 32 Antonov A. S., Artamonov B. A., Korobkov B. M., Magidovich E. I. Support rollers / A. S. Antonov, B. A. Artamonov, B. M. Korobkov, E. I. Magidovich. - M.: Voeniz-dat. 1954. - 607 p.

33 Supporting video. [Electronic resource]. - URL: [http://army - guide. com>rus/article/arti-
cle.789.html](http://army-guide.com>rus/article/article.789.html). (access date: 29.05. 2024).

34 Selivanov I.I. High-cross-country tracked vehicles and transport vehicles / I.I. Selivanov. - M. : Science. 1967. - 272 p.

35 Barakhtanov L.V., Ershov V.I., Rukavishnikov S.V., Kulyashov A.P.. Snowmobiles / L.V. Barakhtanov, V.I. Ershov, S.V. Rukavishnikov, A.P. Kulyashov. – Gorky: Vol-Vyatka book. publishing house 1986. – 191 p.

36 Barakhtanov L.V. Increasing the cross-country ability of tracked vehicles in the snow: Diss...Dr. tech. Sciences: 05.05.03 / L.V. Barakhtanov. – Gorky, – 1988, 352 p.

37 Anikin A.A., Barakhtanov L.V., Donato I.O. Passability of tracked vehicles in snow / A.A. Anikin, L.V. Barakhtanov, I.O. Donato. - N. Novgorod. 2009. - 362 p.

38 Arzamasov B.N., Solovieva T.V., Gerasimov S.A. et al. Handbook of structural materials / B.N. . Arzamasov, T.V. Solovieva, S.A. Gerasimov, and others. – M.: Publishing House of Moscow State Linguistic University named after Bauman. 2005. – 640 p.

39 Ivanova V.S. Destruction of Metals / V.S. Ivanova – M.: Metallurgy. 1979. – 168 p.

40 Aircraft IL-76TD. Technical operation manual. Part 3. Chapters 36, 37. Airframe systems. Household equipment. Water supply and waste disposal. – 201 p.

41 GOST 15150-69 Machines, devices and other technical products. Design for different climatic regions. Categories, operating conditions, storage and transportation in terms of exposure to climatic factors of the external environment. – M.: Standartinform, 2010. – 85 p. .

42 Workshops for technical maintenance of MTO-AT. Operation Manual. - M.: Voenizdat. 2000. - 430 p.

43 Mobile means of technical maintenance and repair of military automotive equipment: a training manual. - Ryazan: RVVDKU (VI). 2012. – 130 s.

© Гудков В. В., Сокол П. А., 2024



2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF PERSONAL MOBILITY EQUIPMENT IN URBAN CONDITIONS

✉¹ **Юнг Анастасия Алексеевна**, аспирант, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», г. Белгород, e-mail: yungnastena33@gmail.com

✉¹ **Jung Anastasia Alekseevna**, postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov”, Belgorod, e-mail: yungnastena33@gmail.com

Шевцова Анастасия Геннадьевна, д.т.н., ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», г. Белгород, e-mail: anastasiya-shevcova@mail.ru

Shevtsova Anastasia Gennadievna, doctor of engineering sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Belgorod state technological university named after V. G. Shukhov”, Belgorod, e-mail: anastasiya-shevcova@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена проблеме увеличения количества дорожно-транспортных происшествий с участием средств индивидуальной мобильности (СИМ). Новой альтернативой использованию личного автомобиля становится использование разнообразных средств индивидуальной (СИМ). СИМ – это новая эпоха развития в транспортной индустрии. Устройства начали набирать особую популярность в России всего несколько лет назад, а в зарубежных странах уже активно используются как замена личному автомобилю, с каждым годом развивая, конструкцию и правила пользования, тем самым повышая безопасность.

Annotation. The article is devoted to the problem of increasing the number of road accidents involving personal mobility aids (SIM). A new alternative to using a personal car is the use of a variety of personal protective equipment (SIM). SIM is a new era of development in the transport field. The devices began to gain particular popularity in Russia just a few years ago, and in foreign countries they are already actively used as a replacement for a personal car, developing the design and rules of use every year, thereby increasing safety.

Ключевые слова: АНАЛИЗ, ДОРОЖНОЕ ДВИЖЕНИЕ, СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ, ХАРАКТЕРИСТИКИ, ТРАНСПОРТНЫЙ ПОТОК.

Keywords: ANALYSIS, TRAFFIC, MEANS OF INDIVIDUAL MOBILITY, CHARACTERISTICS, TRAFFIC FLOW.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

В современном обществе почти в каждой российской семье есть личный автомобиль. По данным, на 1 января 2022 года в стране насчитывалось примерно 59,6 млн зарегистрированных транспортных средств. Из них на легковые автомобили приходится 76,3 % - это 45,5 млн штук [1]. В крупных городах автомобилисты могут провести в заторах на дорогах по несколько часов в утренний и вечерний час пик. Во избежание этого каждый водитель стремится найти способы для сокращения простоя в заторах на дорогах.

В современном обществе вопросы мобильности населения и экономии времени актуальны во всех странах и на всех континентах и требуют скорейшего решения. Согласно статистике, с каждым годом наблюдается увеличение количества автомобилей, мотоциклов, мопедов и других транспортных средств, данная закономерность оказывает значительную нагрузку на транспортную инфраструктуру в целом, тем самым способствуя образованию дорожных заторов и аварийных ситуаций [2]. Чтобы сократить потери времени, находясь в заторах на дороге, и в некоторой степени уменьшить количество ДТП, автолюбители начали осваивать новые средства передвижения, такие как сегвеи, моноколеса, гироскутеры и электросамокаты – так называемые средства индивидуальной мобильности. В связи с этим начали появляться специальные системы по предоставлению в аренду различных средств мобильности [3].

Однако, в данном случае, есть как положительные, так и отрицательные стороны использования СИМ. Использование данных средств на дорогах общего пользования становится серьезным источником повышенной опасности, как для пешеходов, так и для лиц, управляющих такими устройствами.

В нашей стране проблема аварийности средств индивидуальной мобильности на дорогах общего пользования изучена такими авторами, как: Л.А. Абрамова, С.Б. Верещак, В.В. Казачек, А.Д. Ефимов. Рассмотрены особенности определения административно-правового статуса средств индивидуальной мобильности и возможные пути решения тенденции увеличения числа аварийности [4].

Цель исследования заключается в определении алгоритма целесообразности использования различных средств передвижения в городской среде.

Задачи исследования:

1. Выполнить SWOT – анализ положительных и отрицательных факторов использования средств индивидуальной мобильности;
2. Исследовать передвижения СИМ на улично-дорожной сети и выявить три маршрута движения пользователей данных устройств;

Оптимизировать процесс пользования СИМ с помощью применения целевой функции, стремящейся к минимуму при помощи экономической оценки.

2 Материалы и методы

Выполненный SWOT – анализ доказывает, что у средств индивидуальной мобильности присутствует большое количество достоинств для современной жизни человека (табл. 1).

Исследование передвижения средств индивидуальной мобильности осуществлялось на основе г. Белгорода. Территорией мониторинга была выбрана центральная часть города, т.к. именно в этой зоне наблюдается наибольшее количество, как станций проката, так и самих устройств [5].

Составлены три маршрута движения населения внутри данной зоны: первый маршрут стал зоной притяжения для работников офисного здания по адресу гражданский проспект д. 18, вторым маршрутом зачастую пользуются студенты «БелГУ», и третьим маршрутом был выбран «Парк им. В.И. Ленина», который также является местом притяжения для большого количества людей [6].

Таблица 1 – Анализ использования электросамокатов в городских условиях

Достоинства СИМ	Недостатки СИМ
Удобство, простота управления и маневренность устройства.	Ограниченная скорость движения до 25 км/ч.
Стоимость аренды. Тарифы начинаются от 5 рублей за минуту.	Продолжительность эксплуатации на одном заряде составляет 4-5 часов.
Экологичность.	Пробег на одном заряде до 40 км
Компактность и простота транспортировки.	Приемлемая температура использования от -5 ⁰ С до +40 ⁰ С соответственно, сезонность использования в России.
Функции для безопасности.	Низкая проходимость по бездорожью
Польза для здоровья.	Высокая стоимость от 15000 рублей
Стоимость заряда в домашних условиях.	

Таблица 2 – Координаты точек маршрутов

Номер пункта	Северная широта	Восточная долгота
Первый сценарий		
Начальная точка (А)	50.593996	36.600563
Конечная точка (Б)	50.593681	36.585870
Второй сценарий		
Начальная точка (А)	50.594724	36.575148
Конечная точка (Б)	50.593620	36.585528
Третий сценарий		
Начальная точка (А)	50.591398	36.586626
Конечная точка (Б)	50.604333	36.587428

3 Результаты исследований

На рисунках 1-3 представлены карты маршрутов движения по трем разработанным сценариям, соответственно. На каждой схеме синий цвет линии - маршрут по воздуху (по прямой линии), красная линия - маршрут движения на автомобиле и зеленый цвет линии - маршрут движения на электросамокате [7].



Рисунок 1 – Маршрут движения по сценарию №1

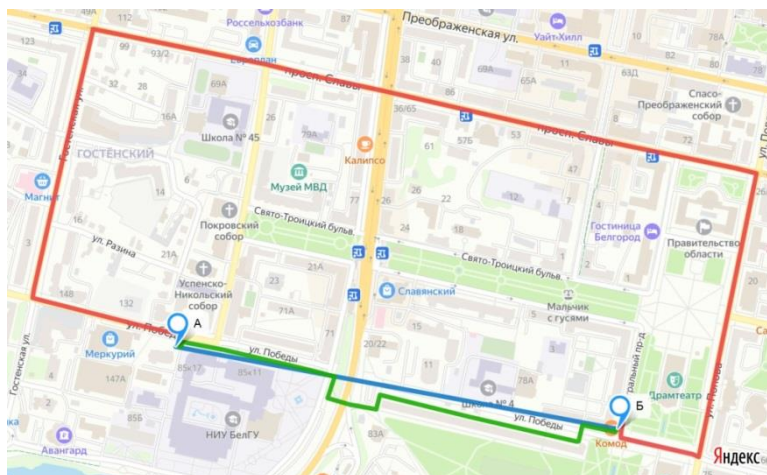


Рисунок 2 – Маршрут движения по сценарию №2

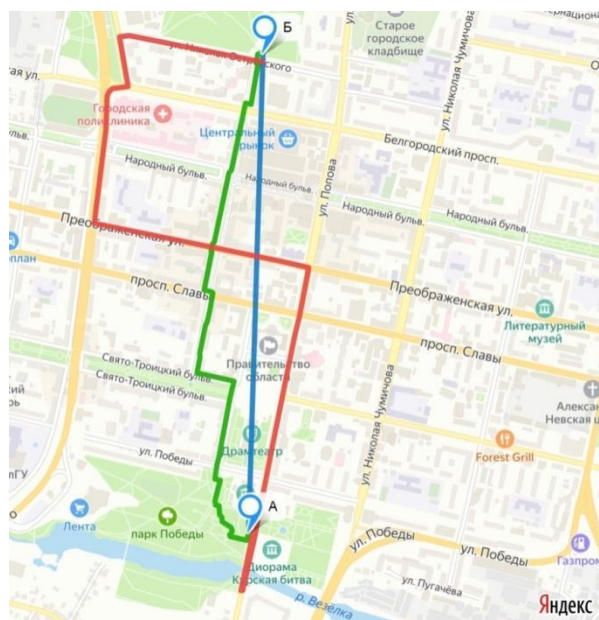


Рисунок 3 – Маршрут по сценарию №3

Выявлена особенность, что самый короткий путь следования характерен для движения по прямой, а самый протяженный маршрут установлен на автомобиле [8]. Маршрут с использованием СИМ по всем сценариям развития является самым оптимальным для городской среды.

Также выявлено, что утром в интервал с 7:30 до 9:30 и в вечернее время с 17:00 до 19:00 наблюдаются сложности для движения на автомобиле (дорожные заторы) на каждом из маршрутов, что может увеличить время в поездке на личном автомобиле [9].

На основе рассчитанной протяженности каждого из выбранных маршрутов вычисляется значение начала движения [10]. Из расчёта максимально допустимой скорости движения электросамоката в г. Белгороде $v = 25$ км/ч на преодоление расстояния $S = 1$ км потребуется время $t = 2,4$ минуты.

1. Для маршрута №1 на проезд расстояния в 1000 м будет затрачено 2,4 мин.
2. Для проезда по маршруту №2 протяженностью 856 м необходимо затратить 2,05 мин
3. Используя маршрут № 3 протяженностью 1700 м пользователю СИМ необходимо на поездку потратить 4,08 мин

Для оптимизации процесса пользования СИМ необходимо применение целевой функции, стремящейся к минимуму при помощи экономической оценки по критерию времени T , который состоит из параметров t , и имеет вид:

$$T = \sum_{i=1}^m t_n \rightarrow \min \quad (1)$$

где T – общая продолжительность пользования средством передвижения, мин; t_n – время на выполнение операции при использовании средства передвижения, мин.

На сегодняшний день самым распространенным транспортом в России по-прежнему является личный автомобиль [11]. Хотя он и не всегда удобен в современных дорожных условиях, необходимо произвести оценку пользования личным автомобилем в современном городском пространстве [12].

Для подсчета затрат времени при пользовании СИМ необходимо аналогично применять целевую функцию, стремящуюся к минимуму при помощи экономической оценки по критерию времени T , который состоит из параметров t , следующего вида:

$$T_{CAR} = \sum_{i=1}^8 t_{nC} \quad (2)$$

где t_{nC} – продолжительность операций, связанных с использованием личного автомобиля, мин; t_{nC1} – посадка в автомобиль, проверка регулировки сиденья, зеркал, положения руля, мин; t_{nC2} – фиксация водителя с помощью ремня безопасности, мин; t_{nC3} – проворачивание ключа в замке зажигания и начало работы автомобиля, мин; t_{nC4} – процесс составления маршрута, мин; t_{nC5} – начало движения, мин; t_{nC6} – задержки времени на пересечениях улиц со светофорным регулированием, мин; t_{nC7} – поиск места для парковки, мин; t_{nC8} – завершение использования автомобиля, мин.

Для T_{CAR} 6 элементов – являются постоянными величинами со значениями 15 мин, и 2 элемента имеют переменные значения.

При скорости $v = 40$ км/ч на преодоление расстояния $S = 1$ км автомобилю потребуется время $t = 1,5$ минуты, следовательно:

1. Для маршрута №1 на проезд расстояния в 1600 м будет затрачено 2,4 мин.
2. Для проезда по маршруту №2 протяженностью 2500 м необходимо затратить 3,75 мин.
3. Используя маршрут №3 протяженностью 2800 м пользователю СИМ необходимо на поездку потратить 4,2 мин.

Благодаря составлению трех маршрутов движения с различными целями и полученными результатами установлен определенный алгоритм пользования (рис. 4) для сравнения разнообразных показателей эффективности [13].

Алгоритм позволяет всесторонне проанализировать особенности эксплуатации СИМ в сравнении с личным автомобилем и составить соответствующий план развития разнообразных исходов событий и выявить возможность целесообразного использования для конкретных условий определенного средства передвижения [14].

Применив разработанный алгоритм, возможно, оценить результат выполненного эксперимента. Полученные результаты занесены в табл. 3.

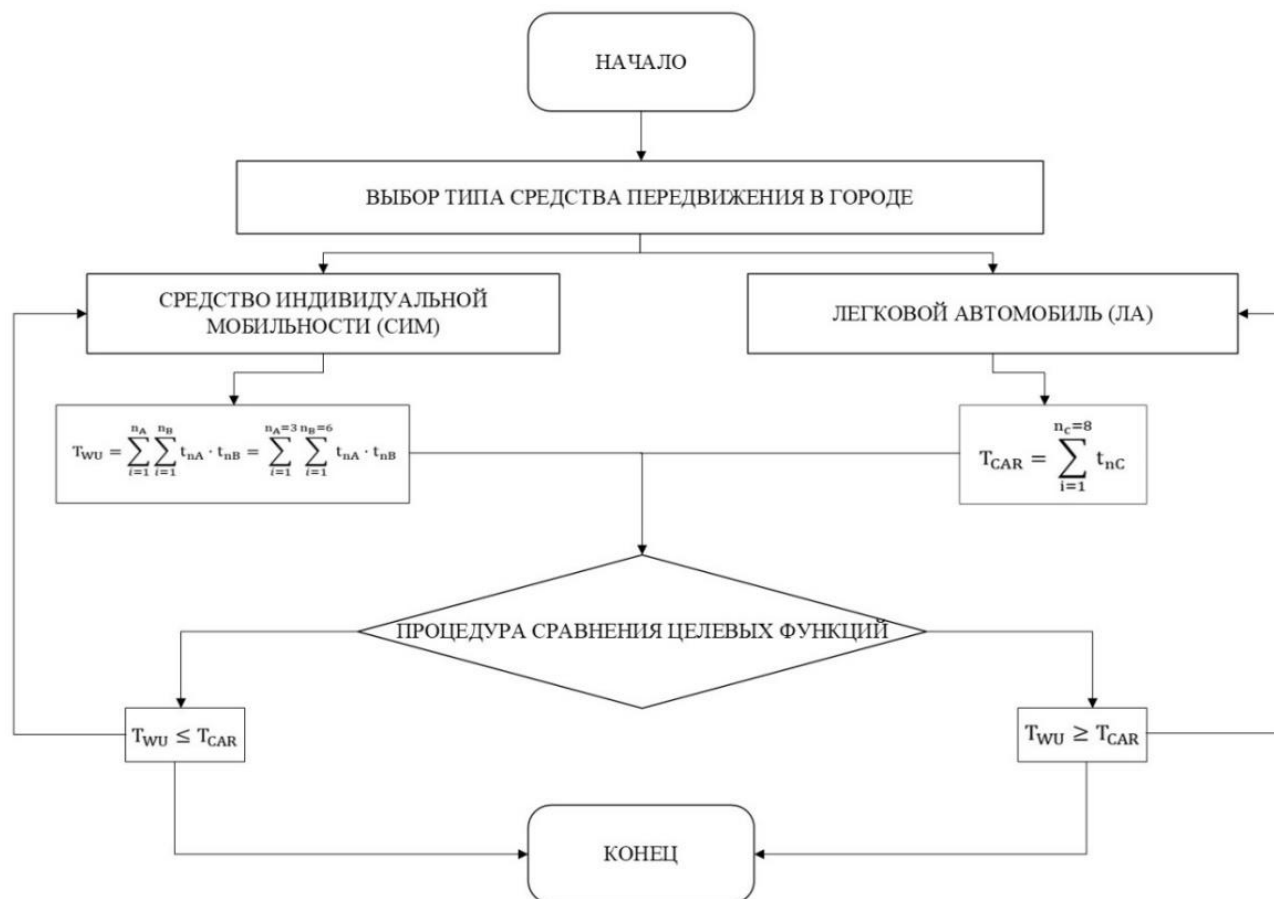


Рисунок 4 – Алгоритм определения целесообразности использования различных средств передвижения в городе

Таблица 3 – Результаты эксперимента

Наименование маршрутов	Тип средства передвижения		Результат применения методики
	Средства индивидуальной мобильности	Личный автомобиль	
Маршрут №1	15,9	30,4	Целесообразно СИМ
Маршрут №2	15,55	24,75	Целесообразно СИМ
Маршрут №3	17,58	28,2	Целесообразно СИМ

4 Обсуждение и заключение

Появление СИМ на дорогах общего пользования становится неизбежной проблемой современной жизни, именно поэтому при сравнении характеристик транспортного потока (скорости, задержек и времени в пути) можно заметить негативную тенденцию при внедрении средств индивидуальной мобильности в общий транспортный поток, резкое уменьшение скорости движения транспортных средств (-13,7 %), увеличение задержек (+21,4 %) и времени в пути (+36,7 %).

При рассмотрении результатов полученных маршрутов можно сделать вывод: использование средств индивидуальной мобильности на улично-дорожной сети является эффективным, так как движение можно осуществлять с минимальными временными и денежными затратами.

По каждому маршруту доказана эффективность использования СИМ на относительно небольшие расстояния (по рассмотренным маршрутам до 3 км) по показателю времени, и доказывает значимость проведения данных мероприятий [15].

Список литературы

- 1 Боровской, А.Е. Распределение состава транспортного потока на примере городской агломерации «Белгород» [Текст] / А.Е. Боровской, П.А. Воля, И.А. Новикова, А.Г. Шевцова // Мир транспорта и технологических машин. – 2015. – №4. – С. 103-110.
- 2 Бурлуцкая, А. Г. Влияние параметров на внедрение дополнительной левоповоротной секции при использовании светофорного регулирования / А.Г. Бурлуцкая, А.Г. Шевцова, А.Д. Еронин, А.А. Юнг // В сборнике: Логистический аудит транспорта и цепей поставок. материалы III международной научно- практической конференции. Тюмень, – 2020. – С. 30-35.
- 3 Волков, П. А. Средства индивидуальной мобильности: вопросы теории и практики использования [Текст] / П.А. Волков, Ю.В. Кемаш. // Вестник Белгородского юридического института МВД России им. И.Д. Путилина. – 2021.– № 1. – С. 51–55.
- 4 Верещак, С. Б. Средства индивидуальной мобильности: проблемы правового регулирования участия в дорожном движении и административной ответственности / С.Б. Верещак, А.В. Верещак, Л.А. Абрамова // Право и практика. – 2020. – № 4. – С. 75–78.
- 5 Галюзин, А. И. Разработка подхода к управлению транспортных потоков в зоне автоматизированного перекрестка / А.И. Галюзин, А.А. Юнг // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Материалы конференции. Белгород, – 2021. – С. 1945-1950.
- 6 Глаголев С.Н., Шевцова А.Г., Васильева В.В. Снижение экологической нагрузки городской территории за счет минимизации влияния грузового транспорта // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – № 3 (70). – С. 97–106.
- 7 Ирошников, Д.В. Правовые проблемы обеспечения безопасности личности на транспорте в условиях использования индивидуального электротранспорта [Текст] / Д.В. Ирошников // Правовое государство: теория и практики. – 2019. – № 1/1. – С. 58-89.
- 8 Лавров, С. Е. Проблемы развития улично-дорожной сети города с учетом нетрадиционных видов транспорта / С.Е. Лавров // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: сборник статей 77-ой Всероссийской научно- технической конференции. – Самара. – 2020. – С. 157-161.
- 9 Мишина, Ю. В. К вопросу об участии в дорожном движении пользователей средств индивидуальной [Текст] / Ю.В. Мишина // Правопорядок: история, теория, практика. – 2020. – № 1/2. – С. 24.
- 10 Мишина, Ю. В. Проблемы определения административно-правового статуса лиц, использующих для передвижения электросамоката, сегвеи и иные современные технические средства [Текст] / Ю.В. Мишина // Проблемы экономики и юридической практики. – 2020. – № 4. – С. 321–325
- 11 Новиков, И. А. Влияние изменения задержек транспортных средств на количество режимов работы светофорного объекта [Текст] / И.А. Новиков, А.Г. Шевцова // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – № 4(35). – С. 62-68.
- 12 Шевцова, А. Г. Оценка аварийности с участием средств индивидуальной мобильности с учетом сезонности / А.Г. Шевцова, А.А. Юнг // В сборнике: наукоемкие технологии и инновации (xxiv научные чтения). Сборник докладов Международной научно-практической конференции. Белгород, – 2021. – С. 238-241.
- 13 Шевцова, А. Г. Оценка влияния параметров автомобилей на значение потока насыщения / А.Г. Шевцова, А.Г. Бурлуцкая, А.А. Юнг // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 1. – С. 126-134.
- 14 Шевцова А. Г., Безродных А. А. Новый способ повышения безопасности движения на регулируемых пешеходных переходах // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. –2015. – № 6–1. – С. 113–117.
- 15 Юнг, А. А. Оценка динамики достижения показателей стратегии безопасности дорожного движения / А.А. Юнг, И.А. Новиков, А.Г. Шевцова // В сборнике: Проблемы функционирования систем транспорта. Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2020. – № 2. – С. 332-335.

References

- 1 Borovskoy, A.E. Distribution of the composition of the traffic flow on the example of the urban agglomeration "Belgorod" [Text] / A.E. Borovskoy, P.A. Volya, I.A. Novikova, A.G. Shevtsova // The world of transport and technological machines. - 2015. - No. 4. - P. 103-110.
- 2 Burlutskaya, A.G. Influence of parameters on the implementation of an additional left-turn section when using traffic light regulation / A.G. Burlutskaya, A.G. Shevtsova, A.D. Eronin, A.A. Jung // In the collection: Logistics audit of transport and supply chains. materials of the III international scientific and practical conference. Tyumen, - 2020. - P. 30-35.
- 3 Volkov, P. A. Individual mobility devices: issues of theory and practice of use [Text] / P. A. Volkov, Yu. V. Kemyash. // Bulletin of the Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after I. D. Putilin. - 2021. - No. 1. - P. 51-55.
- 4 Vereshchak, S. B. Individual mobility devices: problems of legal regulation of participation in road traffic and administrative liability / S. B. Vereshchak, A. V. Vereshchak, L. A. Abramova // Law and Practice. - 2020. - No. 4. - P. 75-78.
- 5 Galyuzin, A. I. Development of an approach to managing traffic flows in the area of an automated intersection / A. I. Galyuzin, A. A. Jung // In the collection: International scientific and technical conference of young scientists of BSTU named after V.G. Shukhov. Conference materials. Belgorod, - 2021. - P. 1945-1950.
- 6 Glagolev S.N., Shevtsova A.G., Vasilyeva V.V. Reducing the environmental load of the urban area by minimizing the impact of freight transport // The world of transport and technological machines. - 2020. - No. 3 (70). - P. 97-106.
- 7 Iroshnikov, D.V. Legal problems of ensuring personal safety in transport in the context of using individual electric transport [Text] / D.V. Iroshnikov // Legal state: theory and practice. - 2019. - No. 1/1. - P. 58-89.
- 8 Lavrov, S. E. Problems of development of the city's street and road network taking into account non-traditional modes of transport / S. E. Lavrov // Traditions and innovations in construction and architecture: collection of articles of the 77th All-Russian scientific and technical conference. - Samara. - 2020. - P. 157-161.
- 9 Mishina, Yu. V. On the issue of participation in road traffic of users of personal means [Text] / Yu. V. Mishina // Law and order: history, theory, practice. - 2020. - No. 1/2. - P. 24.
- 10 Mishina, Yu. V. Problems of determining the administrative and legal status of persons using electric scooters, segways and other modern technical means for transportation [Text] / Yu. V. Mishina // Problems of Economics and Legal Practice. - 2020. - No. 4. - P. 321-325
- 11 Novikov, I. A. The Impact of Changes in Vehicle Delays on the Number of Traffic Light Operation Modes [Text] / I. A. Novikov, A. G. Shevtsova // The World of Transport and Technological Machines. - 2011. - No. 4(35). - P. 62-68.
- 12 Shevtsova, A. G. Accident Rate Assessment with the Participation of Individual Mobility Vehicles Taking into Account Seasonality / A. G. Shevtsova, A. A. Jung // In the collection: science-intensive technologies and innovations (xxiv scientific readings). Collection of reports of the International scientific and practical conference. Belgorod, - 2021. - P. 238-241.
- 13 Shevtsova, A. G. Assessment of the Impact of Vehicle Parameters on the Saturation Flow Value / A. G. Shevtsova, A.G. Burlutskaya, A.A. Jung // Intelligence. Innovations. Investments. - 2022. - No. 1. - P. 126-134.
- 14 Shevtsova A. G., Bezrodnykh A. A. New way to improve traffic safety at regulated pedestrian crossings // Bulletin of Tula State University. Technical sciences. -2015. - No. 6-1. - P. 113-117.
- 15 Jung, A. A. Assessment of the dynamics of achieving road safety strategy indicators / A.A. Jung, I.A. Novikov, A.G. Shevtsova // In the collection: Problems of functioning of transport systems. Proceedings of the International scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists. - 2020. - No. 2. - P. 332-335.

© Юнг А. А., Шевцова А. Г., 2024



2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИНДИКАТОРОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ КАК ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В КУРСКОЙ ОБЛАСТИ

ANALYSIS OF FUNCTIONAL INDICATORS OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS AS INDICATORS OF IMPROVING THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF ROAD TRANSPORT IN THE KURSK REGION

✉¹ Емельянов Иван Павлович,

к.т.н., доцент кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, e-mail: yuzgu@yandex.ru

✉¹ Emelyanov Ivan Pavlovich,

candidate of technical sciences, associate professor of the department of materials technology and transport, South-Western state university, Kursk, e-mail: yuzgu@yandex.ru

Кирильчук Ираида Олеговна,

к.т.н., доцент кафедры охраны труда и окружающей среды, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, e-mail: iraida585@mail.ru

Kirilchuk Iraida Olegovna,

candidate of technical sciences, associate professor of the department of occupational safety and environment, South-Western state university, Kursk, e-mail: iraida585@mail.ru

Барков Алексей Николаевич,

к.т.н., доцент кафедры охраны труда и окружающей среды, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, e-mail: aleksebarkov@yandex.ru

Barkov Alexey Nikolaevich,

candidate of technical sciences, associate professor of the department of occupational safety and environment, South-Western state university, Kursk, e-mail: aleksebarkov@yandex.ru

Аннотация. В статье представлен анализ современных исследований в области оценки антропогенного воздействия автотранспорта, включая выбросы загрязняющих веществ в воздушную среду, шумовое и вибрационное воздействие. При реализации мероприятий, направленных на снижение негативного воздействия автотранспорта, значительное внимание уделяется разработке и внедрению интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Для оценки эффективности использования элементов ИТС в Курской области с точки зрения улучшения экологических показателей авторами проанализированы следующие функциональные индикаторы ИТС: массовый выброс загрязняющих веществ, содержащихся в выхлопных газах автомобилей;

Annotation. The article presents an analysis of modern research in the field of assessing the anthropogenic impact of motor transport, including emissions of pollutants into the air, noise and vibration impact. When implementing measures aimed at reducing the negative impact of motor transport, considerable attention is paid to the development and implementation of intelligent transport systems (ITS). To assess the effectiveness of using ITS elements in the Kursk region in terms of improving environmental performance, the authors analyzed the following functional indicators of ITS: mass emissions of pollutants contained in vehicle exhaust gases; noise level from traffic flow; CO and NO_x concentration values. The conducted field studies and calculations indicate the high efficiency of ITS implementation to reduce the environmental load on sections of the road network.

уровень шума от транспортного потока; значения концентраций СО и NO_x. Проведенные натурные исследования и расчеты свидетельствуют о высокой эффективности внедрения ИТС для снижения экологической нагрузки на участках дорожной сети.

Ключевые слова: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА (ИТС), АВТОТРАНСПОРТ, ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ИНДИКАТОРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.

Keywords: INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM (ITS), MOTOR TRANSPORT, ENVIRONMENT, ENVIRONMENTAL SAFETY, ENVIRONMENTAL SAFETY INDICATORS.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

В последние десятилетия наблюдается значительный рост негативного воздействия транспортного комплекса на окружающую среду урбанизированных территорий как в России, так и в других развитых странах. Функционирование различного вида транспорта сопровождается серьёзным техногенным воздействием, состоящим в химическом загрязнении компонентов окружающей среды, а также в виброакустическом, тепловом и электромагнитном воздействии.

Проблема транспортного комплекса как основного источника антропогенного загрязнения атмосферы рассматривалась в научных трудах большого количества российских и зарубежных учёных. В статьях Князева Д.К., Щукиной Т.В., Тамоновой О.С., Акуловой И.И., Гармонова К.В., Полосина И.И., Плотникова А.В., Сазонова Э.В., Пепиной Л.А., Созонтовой А.Н., Подгорновой Н.А. показано, что среди отраслей транспортного комплекса по степени возрастающего негативного воздействия на окружающую среду и здоровье населения лидирует автомобильный транспорт [1-6]. Так, в совокупном объёме выбросов загрязняющих атмосферу веществ около 50 % составляют выбросы передвижных источников. А во многих городах России доля выбросов автотранспорта может составлять величину до 80 % от общего количества выбросов в атмосферу. При этом согласно данным Росприроднадзора содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе от автомобильного транспорта с каждым годом только возрастает [7]. Схожие тенденции характерны и для других развитых стран, что доказывают труды S. Grishin, O.V. Schiptsov, Aleksander Śladkowski, Jūratė Liebuviėnė и Kristina Čižiūnienė, Yu.N. Bezborodov, M.A. Kovaleva, A.N. Sokolnikov, V.G. Shram, E. Stawiarska [8-12].

Немаловажным фактором негативного воздействия, ведущим к ухудшению состояния, повреждению и разрушению объектов городской архитектуры, в том числе памятников истории и культуры, является транспортная вибрация, поскольку сплошное асфальтобетонное покрытие проезжей части и тротуаров при отсутствии разделительных полос и газонов в качестве средств естественного демпфирования передаёт вибрационные нагрузки на конструкции зданий и сооружений. Особые возражения вызывает также дорожное строительство без учёта экологических требований.

Шумовое воздействие автотранспорта также является одной из наиболее острых экологических проблем. Доля транспортного шума составляет примерно 80 % от общего шума в современном городе. Известно, что в России приблизительно 30 % городского населения подвержены существенному воздействию транспортного шума, превышающему нормативы. А вследствие постоянного увеличения численности легкового автотранспорта наблюдается постоянное увеличение шумового загрязнения территорий вблизи автомагистралей. Уровни шума вблизи домов, обращённых к крупным городским магистралям, составляют 70-79 дБ,

внутри зданий уровни шума составляют 60-68 дБ при норме 40 дБ. Причём зоны акустического дискомфорта в местах малоэтажной городской застройки распространяются на расстояние 150-300 метров от крупных автомагистралей [13].

Учитывая высокие темы автомобилизации, экологические исследования в данной области являются важной задачей современности, ключевую роль в решении которой играет разработка мероприятий, направленных на снижение вредного воздействия автотранспорта на окружающую среду.

Эти мероприятия должны иметь комплексный характер. При этом система транспортной безопасности в свете устойчивого экологического развития должна предусматривать совокупность действий, минимизирующих прямую (например, через ДТП) или косвенную (например, через химическое или шумовое загрязнение среды обитания) угрозу существования живым организмам.

2 Материалы и методы

В современных исследованиях рассматриваются два основных метода решения различных проблем автотранспортного комплекса, включая повышение его экологической безопасности [14]. Первый заключается в модернизации дорожной инфраструктуры, направленной на улучшение пропускной способности и повышение безопасности дорожной сети. Второй состоит в разработке и внедрении интеллектуальных транспортных систем (ИТС), обеспечивающих более эффективную эксплуатацию транспортной сети на основе информационных, коммуникационных и управленческих технологий, встроенных в транспортное средство или дорожную инфраструктуру.

При этом определение объектов модернизации, то есть участков дорожной сети, приоритетных для внедрения на них элементов ИТС, должно основываться на качественном и количественном анализе отработанных газов различных групп автотранспортных средств, осуществляющих движение на рассматриваемых объектах.

Выхлопные газы автомобильного транспорта содержат более 280 химических соединений, в том числе высокотоксичных. Усреднённый компонентный состав выбросов автотранспортных средств представлен на рис. 1.

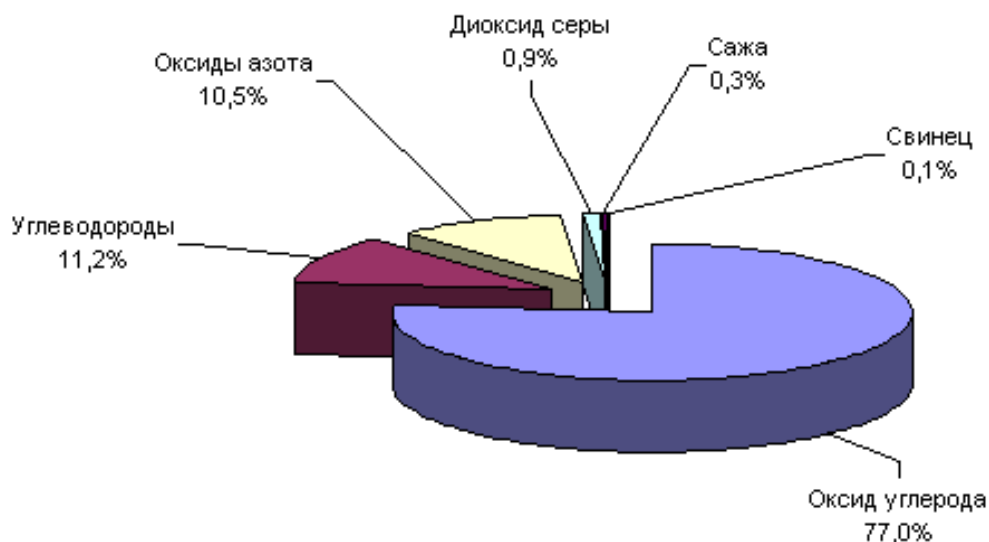


Рисунок 1 – Структура валового выброса в атмосферу от автотранспорта

Необходимо отметить, что для различных групп автомобилей удельные пробеговые выбросы загрязняющих веществ отличаются в значительной степени, что доказывают данные, представленные в табл. 1.

Таблица 1 – Удельные пробеговые выбросы загрязняющих веществ для различных групп автомобилей [15]

Наименование группы автомобилей	Выброс г/км						
	CO	NO _x (в пересчете на NO ₂)	CH	Сажа	SO ₂	Формальдегид	Бенз(а)-пирен
Легковые	0,90	0,33	0,26	$0,55 \times 10^{-2}$	$0,66 \times 10^{-2}$	$1,50 \times 10^{-3}$	$0,18 \times 10^{-6}$
Автофургоны и микроавтобусы массой до 3,5 т	4,60	1,80	0,70	$3,70 \times 10^{-2}$	$1,40 \times 10^{-2}$	$2,50 \times 10^{-3}$	$0,20 \times 10^{-6}$
Грузовые массой от 3,5 до 12 т	5,30	6,40	1,50	0,37	$2,60 \times 10^{-2}$	$0,70 \times 10^{-2}$	$0,60 \times 10^{-6}$
Грузовые массой свыше 12 т	5,60	7,50	2,00	0,44	$3,90 \times 10^{-2}$	$0,80 \times 10^{-2}$	$0,73 \times 10^{-6}$
Автобусы массой свыше 3,5 т	3,90	4,70	0,50	0,15	$2,20 \times 10^{-2}$	$0,22 \times 10^{-2}$	$0,20 \times 10^{-6}$

Анализ данных таблицы свидетельствует о том, что основная масса загрязняющих веществ выделяется в наибольшем количестве грузовыми автомобилями. Таким образом, наиболее опасной зоной являются автомагистрали, по которым разрешён проезд указанного вида транспорта. Объем выбросов загрязняющих веществ от легковых автомобилей несколько меньше, однако в городах преобладающим видом транспорта является именно легковой автотранспорт, а также микроавтобусы, в связи с чем массовый выброс основных загрязняющих веществ от них может быть не только сопоставим с выбросом грузовых автомобилей, но зачастую превышать последний.

На величину выбросов загрязняющих веществ передвижными источниками значительное влияние оказывает режим работы двигателя автотранспортного средства. Так, например, при ускорении и торможении в выхлопных газах увеличивается содержание загрязняющих веществ почти в 8 раз [16]. Минимальное количество загрязнений выделяется при равномерном движении автомобиля со скоростью 60-80 км/ч (рис.2).

Помимо режима работы двигателя на содержание загрязняющих веществ в выхлопных газах автотранспорта также влияют рельеф и качество дорог, техническое состояние автотранспорта и др.

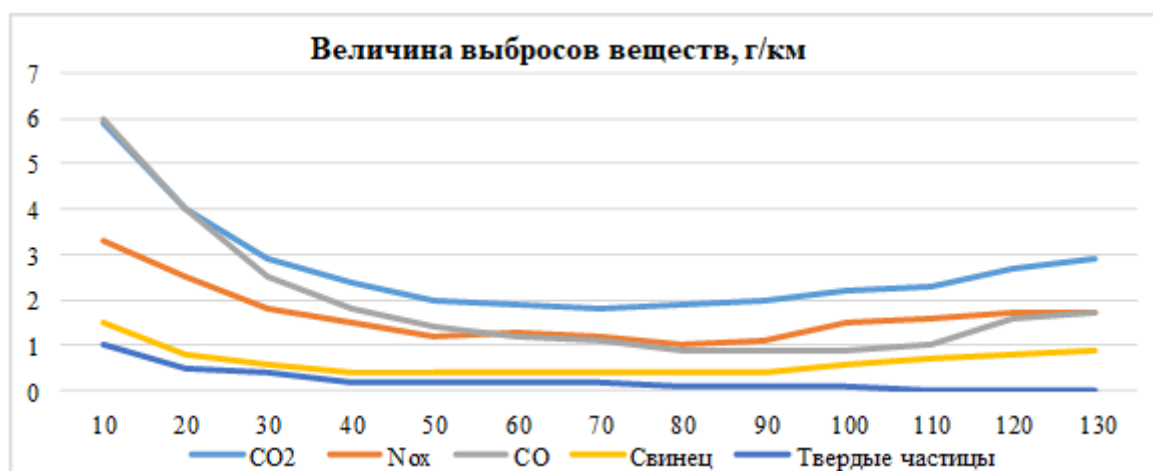


Рисунок 2 – Зависимость объема выбросов загрязняющих веществ от скорости движения автотранспортного средства

Помимо режима работы двигателя на содержание загрязняющих веществ в выхлопных газах автотранспорта также влияют рельеф и качество дорог, техническое состояние автотранспорта и др.

С 2020 года на территории Курской области приступили к разработке и внедрению локального проекта интеллектуальной транспортной системы. В рамках проекта на участке проспекта Ленинского Комсомола от трассы М2 до улицы Крюкова г. Курска развернут Макет платформы «Автодата» (пилотный проект НП «ГЛОНАСС» – «Умная дорога») [14], обеспечивающий автоматизированное управление дорожным движением по различным сценариям. В рамках данного исследования была проведена оценка эффективности использования Макета платформы «Автодата» на территории г. Курска с точки зрения улучшения экологических показателей в районах регулируемых перекрёстков.

3 Результаты исследований

Исходя из поставленной цели исследования необходимо оценить основные экологические показатели, на которые оказывает воздействие автомобильный транспорт до и после внедрения ИТС. В качестве таких показателей нами были рассмотрены:

- массовый выброс загрязняющих веществ, содержащихся в выхлопных газах автомобилей;
- уровень шума от транспортного потока.

Помимо указанных величин, на наш взгляд, необходимо проанализировать, значения концентраций СО и NO_x как основных компонентов выхлопных газов автотранспортных средств, так как именно концентрации загрязняющих веществ лежат в основе санитарно-гигиенического нормирования, применяемого в РФ.

В соответствии с нормативно утверждёнными методиками, используемыми в РФ, в летние периоды 2021-2023 гг. были проведены натурные обследования автотранспортного потока, лежащие в основе расчёта массового выброса загрязняющих веществ, содержащихся в выхлопных газах автомобилей, а также исследования, направленные на измерения концентрации загрязнений, выбрасываемых автотранспортными средствами, и уровня шума от транспортного потока. На рис. 3 представлены точки исследования выбросов автотранспорта на карте г. Курска.



- 1 – пересечение пр. Ленинского Комсомола – Силикатный проезд (участок с ИТС);
2 – пересечение пр. Ленинского Комсомола – ул. Крюкова; 3 – участок пр. Ленинского Комсомола

Рисунок 3 – Карта и точки исследования выбросов загрязняющих веществ

Состав движущегося потока можно разделить на следующие категории: легковые автомобили с бензиновым двигателем, легковые дизельные автомобили, грузовые бензиновые (ГК) меньше 3 тонн, микроавтобусы (МА), автобусы бензиновые (АК), грузовые дизельные

(ГД), автобусы дизельные (АД), грузовые газобалонные (ГТБ). На рис.4 представлен состав транспортного потока по указанным категориям.



Рисунок 4 – Состав транспортного потока на участке установки ИТС

Из диаграммы видно, что на данном участке дорожной сети преобладают легковые автомобили, однако из-за того, что пр. Ленинского Комсомола является дорогой для выезда из города, в составе транспортных средств содержится значительное количество как грузовых транспортных средств, так и междугородних автобусов.

По результатам полевых наблюдений автотранспортных потоков была рассчитана масса выброса оксида углерода и оксида азота согласно методике определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха [17].

На рис. 5-8 представлены графики массового выброса загрязняющих веществ на перекрёстке пр. Ленинского Комсомола и Силикатного проезда и перекрёстке пр. Ленинского Комсомола и ул. Крюкова.

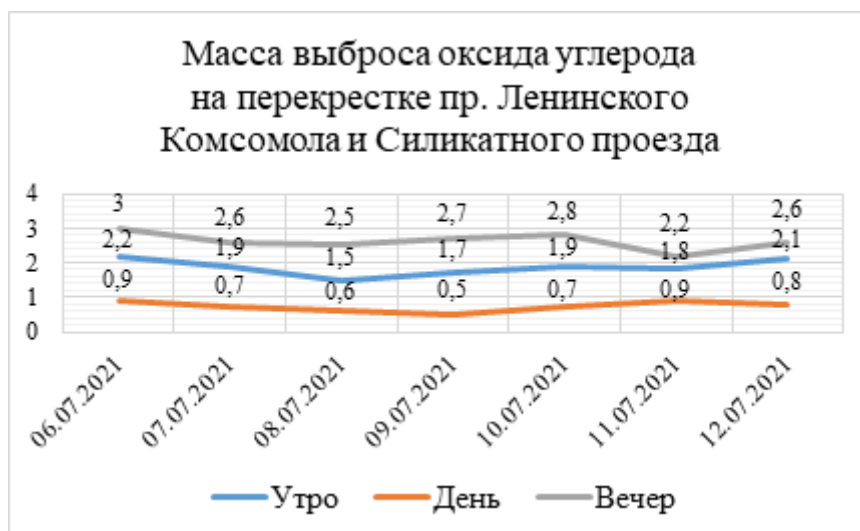


Рисунок 5 – Масса выброса оксида углерода на перекрёстке пр. Ленинского Комсомола и Силикатного проезда

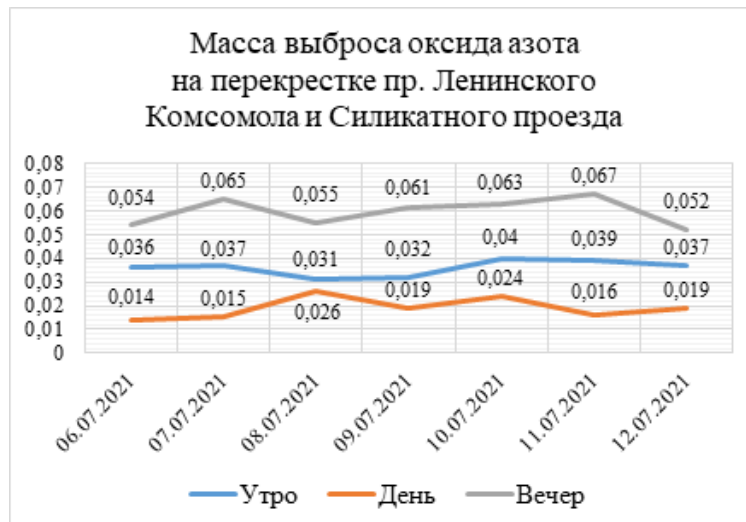


Рисунок 6 – Масса выброса оксида азота на перекрестке пр. Ленинского Комсомола и Силикатного проезда

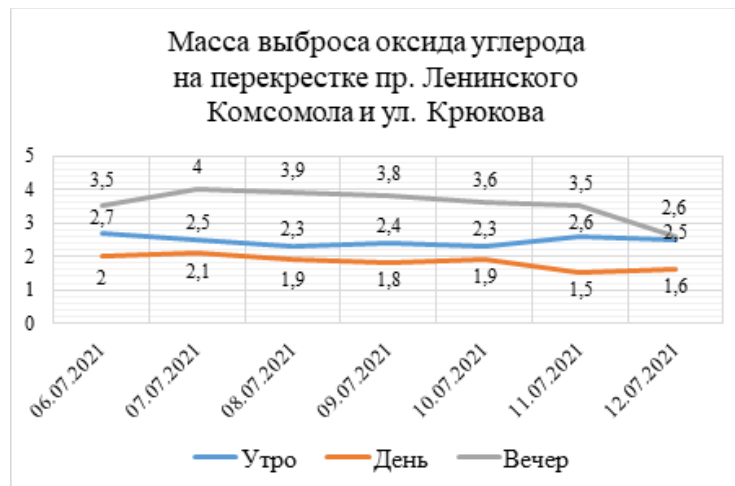


Рисунок 7 – Масса выброса оксида углерода на перекрестке пр. Ленинского Комсомола и ул. Крюкова

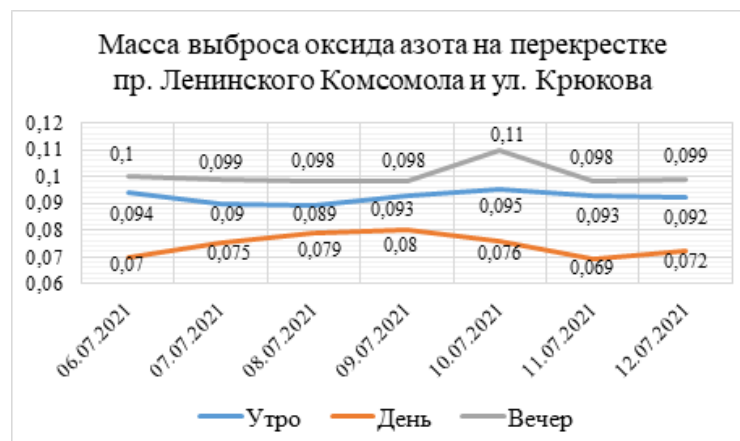


Рисунок 8 – Масса выброса оксида азота на перекрестке пр. Ленинского Комсомола и ул. Крюкова

При проведении натурных обследований участков дорожной сети с использованием газоанализатора ЭЛАН были проведены замеры приземных концентраций рассматриваемых вредных веществ. Результаты замеров представлены на рис. 9.

Следует отметить, что большее количество выбросов приходится на ул. Крюкова, хотя число автомобилей сопоставимо с другими рассматриваемыми участками. Следовательно, отсутствие ИТС на перекрёстке с ул. Крюкова негативно сказывается на экологической ситуации, в то время как комплекс камер на перекрёстке пр. Ленинского Комсомола и Силикатного проезда, нацеленный на уменьшение простоя транспортных средств на запрещающем сигнале светофора, в значительной степени способствует снижению экологической нагрузки на данном перекрёстке.

При исследовании шумового загрязнения были проанализированы уровни шума в тех же точках, что и при измерении выбросов. Результаты замеров уровней шума представлены в табл. 2.

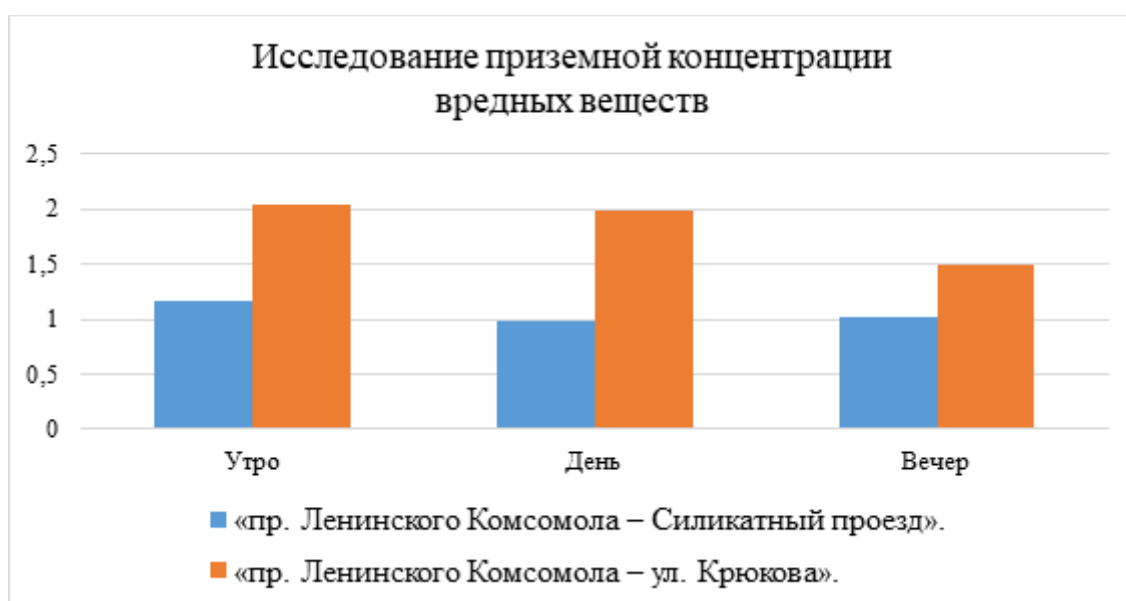


Рисунок 9 – Исследование приземной концентрации, мг/м³ вредных веществ

Таблица 2 – Уровень шума на участках дорожной сети

№	Адрес точки замера уровня шума	Место замера	Уровень шума 7-9ч., дБ	Уровень шума 9-19ч., дБ	Уровень шума 19-23ч., дБ	Уровень шума 23-7ч., дБ
1	Пр. Ленинского Комсомола	Со стороны дороги	69,3	74,3	63,6	56,3
2	Перекрёсток пр. Ленинского Комсомола и Силикатного проезда	Со стороны дороги	72,3	79,3	74,3	63,2
3	Перекрёсток пр. Ленинского Комсомола и улицы Крюкова	Со стороны дороги	76,2	84,2	78,6	62,4

Результаты данных таблицы можно представить в виде карты шумового загрязнения (рис. 10).



Рисунок 10 – Карта шумового загрязнения на пр. Ленинского Комсомола

4 Обсуждение и заключение

Таким образом, проведённые натурные исследования и расчёты свидетельствуют о высокой эффективности внедрения ИТС для снижения экологической нагрузки на участках дорожной сети. Так, установленный блок камер видеofиксации на пересечении Силикатного проезда и пр. Ленинского Комсомола обеспечивает высокую пропускную способность для автотранспортного потока посредством изменения продолжительности действия разрешающего сигнала светофора, вследствие чего уровень загрязнения окружающей среды снижается, по сравнению с пересечением улицы Крюкова и пр. Ленинского Комсомола.

Следовательно, величины массового выброса загрязняющих веществ, содержащихся в выхлопных газах автомобилей, уровня шума от транспортного потока, концентрации СО и NO_x можно рассматривать в качестве функциональных и целевых индикаторов эффективности ИТС для улучшения экологических показателей автотранспортного комплекса.

Список литературы

- 1 Князев, Д. К. Экологические риски от автомобильного транспорта в городе-миллионнике // Вестник МГСУ. – 2019. – № 14 (10). – С. 1299-1308.
- 2 Щукина Т.В., Тамонова О.С., Акулова И.И. Оценка воздействия автотранспорта на экологию урбанизированных территорий и пути сокращения нагрузки транспортной системы мегаполиса // Экология и промышленность России. – 2017. – № 21 (4). – С. 36-41.
- 3 Гармонов К.В., Полосин И.И., Плотников А.В. Моделирование загрязнения окружающей природной среды вредными газообразными выбросами // Экология урбанизированных территорий. – 2015. – № 1. – С.12-14.
- 4 Сазонов, Э. В. Экология городской среды. – Москва: Издательство Юрайт, 2017. – 308 с.
- 5 Пепина Л. А., Созонтова А. Н. Загрязнение атмосферного воздуха автомобильнодорожным комплексом // Alfabuild. – 2017. – № 1 (1). – С. 99-100.
- 6 Подгорнова, Н. А. Экологические проблемы автомобильного транспорта и пути решения // Молодой ученый. – 2016. – № 22(2). – С. 48-50.
- 7 Тузов К. А., Сабельников И. И. Экология и экономика: динамика загрязнения атмосферы страны в преддверии ратификации Парижского соглашения // Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. – 2019. – № 52. – С. 24.
- 8 Grishin S., Schiptsov O.V. Problems of transport ecology and analysis of ecological statistics of Latvia // 9th International Conference «Reliability and Statistics in Transportation and Communication». Riga: Transport and Telecommunication Institute. 21-24 October 2009. P. 37-44.
- 9 Sładkowski A. Ecology in Transport: Problems and Solutions. Springer, Cham. 2020. P. 563. DOI: 10.1007/978-3-030-42323-0.
- 10 Liebuviene J., Čiziūnienė K. Ensuring ecology of cargo transportation by road transport // International Journal of Learning and Change (IJLC). 2019. № 11(3). P. 211-221. DOI: 10.1504/IJLC.2019.103326.

11 Bezborodov Y. N., Kovaleva S. A., Sokolnikov A.N., Shram V.G. Influence of transport on the ecology of big megapolis // Journal of Physics: Conference Series. 2019. № 1399(5). 55008. DOI: 10.1088/1742-6596/1399/5/055008.

12 Stawiarska E. Analysis of the region specialization in the issue of «Ecology and transport» // 17th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM2017. 2017. P. 51-60.

13 Анисимова А. И., Лебедева А. С. Исследование инноваций в сфере экологической безопасности транспорта мегаполиса // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Экономика и экологический менеджмент. – 2020. – № 3. – С. 11-21.

14 Емельянов И. П., Кирильчук И. О., Барков А. Н., Персидская К. А. Использование интеллектуальных транспортных систем для повышения экологической безопасности автомобильного транспорта в Курской области // Мир транспорта и технологических машин. 2023. – № 1-1(80). – С. 103-111. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-103-111.

15 ГОСТ Р 56162—2019. Метод расчета количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу потоками автотранспортных средств на автомобильных дорогах разной категории. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 сентября 2019 г. N9 694-ст.

16 Пыталева О. А., Фридрихсон О. В., Бердашкевич С. М. Исследование экологического аспекта при организации транспортных потоков в городах (на примере города Магнитогорска) // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2016. Т.6. С. 58-64. DOI: 10.18503/2222-9396-2016-6-1-58-64.

17 Приказ № 804 от 27 ноября 2019 г. «Об утверждении методики определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха».

References

1 Knyazev D.K. [Environmental risks from road transport in the city of a million people]. Vestnik MGSU. [Bulletin of the MSU]. 2019; 14 (10): 1299-1308. (In Russ.).

2 Shchukina T.V., Tamonova O.S., Akulova I.I. [Assessment of the impact of motor transport on the ecology of urbanized territories and ways to reduce the load of the megapolis transport system]. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. [Ecology and Industry of Russia]. 2017; 21 (4): 36-41. (In Russ.).

3 Garmonov K.V., Polosin I.I., Plotnikov A.V. [Modeling of environmental pollution by harmful gaseous emissions]. Ekologiya urbanizirovannykh territorii. [Ecology of urbanized territories]. 2015; 1: 12-14. (In Russ.).

4 Sazonov E.V. [Ecology of the urban environment]. Moskva: Izdatel'stvo Yurait; 2017. (In Russ.).

5 Pepina L.A., Sozontova A.N. [Pollution of atmospheric air by automobile and road complex]. Alfabuild. 2017; 1(1): 99-100. (In Russ.).

6 Podgornova N.A.[Ecological problems of automobile transport and ways of solution]. Molodoi uchenyi. [Young scientist]. 2016; 22(2): 48-50. (In Russ.).

7 Tuzov K.A., Sabel'nikov I.I.[Ecology and economy: dynamics of air pollution in the country on the eve of the ratification of the Paris Agreement]. Byulleten' o tekushchikh tendentsiyakh rossiiskoi ekonomik. [Bulletin on current trends in the Russian economy]. 2019; 52: 24. (In Russ.).

8 Grishin S., Schiptsov O.V. Problems of transport ecology and analysis of ecological statistics of Latvia. 9th International Conference «Reliability and Statistics in Transportation and Communication». 2009: 37-44.

9 Śladkowski A. Ecology in Transport: Problems and Solutions. Springer, Cham. 2020: 563. DOI: 10.1007/978-3-030-42323-0.

10 Liebuviene J., Čižiūnienė K. Ensuring ecology of cargo transportation by road transport. International Journal of Learning and Change (IJLC). 2019;11(3): 211-221. DOI: 10.1504/IJLC.2019.103326.

11 Bezborodov Y. N., Kovaleva S. A., Sokolnikov A.N., Shram V.G. Influence of transport on the ecology of big megapolis. Journal of Physics: Conference Series. 2019; 1399(5): 55008. DOI: 10.1088/1742-6596/1399/5/055008.

12 Stawiarska E. Analysis of the region specialization in the issue of «Ecology and transport» // 17th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM2017. 2017. P. 51-60

13 Anisimova A. I., Lebedeva A. S. [Research of innovations in the sphere of ecological safety of megapolis transport]. Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya Ekonomika i ekologicheskii menedzhment. [Scientific Journal of the National Research University ITMO. Series Economics and Environmental Management]. 2020; 3: 11-21. DOI: 10.17586/2310-1172-2020-13-3-11-21 (In Russ.).

14 Yemelyanov I. P., Kirilchuk I. O., Barkov A. N., Persidskaya K. A. Use of intelligent transport systems to improve the environmental safety of road transport in the Kursk region // World of transport and technological machines. 2023. No. 1-1 (80). P. 103-111. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-1 (80) -1-103-111. (In Russ.).

15 GOST R 56162-2019. Method for calculating the amount of emissions of pollutants into the atmosphere by flows of motor vehicles on roads of different categories. Approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of September 17, 2019 N9 694-st (In Russ.).

16 Pytaleva O.A., Fridrikhson O.V., Berdashkevich S.M. [The study of the ecological aspect in the organization of transport flows in cities (on the example of the city of Magnitogorsk)]. Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii. [Modern problems of the transport complex of Russia]. 2016; 6: 58-64. DOI: 10.18503/2222-9396-2016-6-1-58-64 (In Russ.).

17 Order No. 804 of November 27, 2019 "On approval of the methodology for determining emissions of pollutants into the atmospheric air from mobile sources for conducting consolidated calculations of atmospheric air pollution".

© Емельянов И. П., Кирильчук И. О., Барков А. Н., 2024



2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА
ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОБУСНЫХ
ПЕРЕВОЗОК НА ПРИМЕРЕ
МАРШРУТА №158
Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

**IMPROVING THE QUALITY OF
SERVICE OF BUS TRANSPORTATION
ON THE EXAMPLE OF THE
ST. PETERSBURG'S ROUTE №158**

✉¹ **Шаврина Валентина Сергеевна**,
студент, Санкт-Петербургский Горный университет Императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, e-mail: shavrinavalentina@yandex.ru

✉¹ **Shavrina Valentina Sergeevna**,
student, St. Petersburg Mining university of Empress Catherine II, St. Petersburg, e-mail: shavrinavalentina@yandex.ru

Барнови Наталья Вячеславовна,
к.т.н., доцент кафедры транспортно-технологических процессов и машин, Санкт-Петербургский Горный университет Императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург.

Barnovi Natalia Vyacheslavovna,
candidate of technical sciences, associate professor of the department of transport technological processes and machines, St. Petersburg Mining university of Empress Catherine II, St. Petersburg.

Аннотация. В статье представлена характеристика рассматриваемого автобусного маршрута, а также исследуемой территории, выбран метод обследования пассажиропотоков, после чего на основании полученных данных были разработаны соответствующие мероприятия. Для повышения качества обслуживания автобусного маршрута №158 было предложено усовершенствовать расписание движения подвижного состава, а также изменить трассу маршрута. Таким образом, благодаря предложенным мероприятиям удалось повысить качество обслуживания пассажирских автобусных перевозок, что подтверждают расчёты социального эффекта.

Annotation. The article presents the characteristics of the bus route under consideration, as well as the territory under study, a method for examining passenger flows was selected, after which, based on the data obtained, appropriate measures were developed. In order to improve the quality of service of bus route No. 158, it was decided to change the section of the route, as well as the bus schedule on the route. Thus, thanks to the proposed measures, it was possible to improve the quality of service of passenger bus transportation, which is confirmed by calculations of the social effect.

Ключевые слова: ГОРОДСКОЙ ОБЩЕСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТ, ПАССАЖИРСКИЕ ПЕРЕВОЗКИ, ТРАССА МАРШРУТА, СОЦИАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ, СУТОЧНЫЙ ОБЪЁМ ПЕРЕВОЗОК.

Keywords: URBAN PUBLIC TRANSPORT, PASSENGER TRANSPORTATION, ROUTE, SOCIAL EFFECT, DAILY TRANSPORTATION VOLUME.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Население Санкт-Петербурга, а также районы, отличающиеся массивной жилой застройкой, постоянно увеличиваются [1]. При этом количество пассажиров, нуждающихся в общественном транспорте, также растёт.

Кроме того, важно отметить, что предоставляемые услуги по перевозке пассажиров должны соответствовать всем стандартам качества, предъявляемым к данному виду услуг.

Таким образом, вопрос, касающийся качества транспортного обслуживания населения, с каждым годом становится все более актуальным, что, в свою очередь, связано с увеличением городских территорий.

Ярким примером района массивной жилой застройки являются намывные территории Васильевского острова [2, 3].

В связи с этим было решено выбрать один из маршрутов, обслуживающих вышеуказанные территории и, изучив его, предложить варианты улучшения транспортного обслуживания населения. Именно поэтому в качестве рассматриваемого маршрута был выбран городской автобусный маршрут №158.

Рассматриваемый маршрут имеет ключевое значение для обеспечения транспортного обслуживания жителей намывных территорий западной части Васильевского острова, чем, в свою очередь, и обусловлена актуальность данной темы. Вместе с тем, одной из важнейших характеристик автобусных перевозок является качество обслуживания, которое необходимо постоянно поддерживать на требуемом уровне.

В настоящее время основные показатели, характеризующие уровень качества транспортного обслуживания, определяются согласно ГОСТ 51004-96 [4], а также в соответствии с Социальным стандартом в области транспортного обслуживания населения [5]. Помимо вышеперечисленного, при оценке качества транспортного обслуживания можно воспользоваться соответствующими ГОСТами [6, 7], Правилами перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом [8] и Уставом автомобильного транспорта [9].

Практическая значимость результатов, полученных в ходе проведения настоящих исследований, заключается в возможности внедрения разработанных мероприятий непосредственно в процесс организации пассажирских автобусных перевозок на маршруте №158 для повышения уровня качества транспортных услуг.

Научная новизна состоит в следующем:

- проведены исследования, благодаря которым удалось получить данные, отражающие наполняемость подвижного состава в конкретные временные промежутки, а также объём перевозок пассажиров;

- разработаны мероприятия для улучшения организации движения маршрутов городского общественного транспорта, внедрение которых позволит повысить качество обслуживания пассажирских автобусных перевозок.

Автобусный маршрут № 158 «А/С «Наличная ул.» – пассажирский порт СПб «Морской фасад», являясь маятниковым маршрутом с перекрывным тарифом, обслуживает Василеостровский район Санкт-Петербурга [10]. Маршрут обеспечивает связь западной части Васильевского острова со станцией метро «Приморская». Кроме того, трасса маршрута проходит через порт «Морской фасад». В то же время, отличительной особенностью маршрута №158 является то, что его социальная значимость, в первую очередь, заключается в обеспечении связи жителей нового района города, а именно – намывных территорий, расположенных в западной части Васильевского острова с крупным пассажирообразующим пунктом – станцией метро «Приморская». Трасса маршрута №158 представлена на рис. 1.

В процессе выполнения данной работы в качестве мероприятий, позволяющих повысить уровень качества транспортного обслуживания населения намывных территорий, было предложено продлить трассу автобусного маршрута №158, а также изменить расписание движения подвижного состава на маршруте.

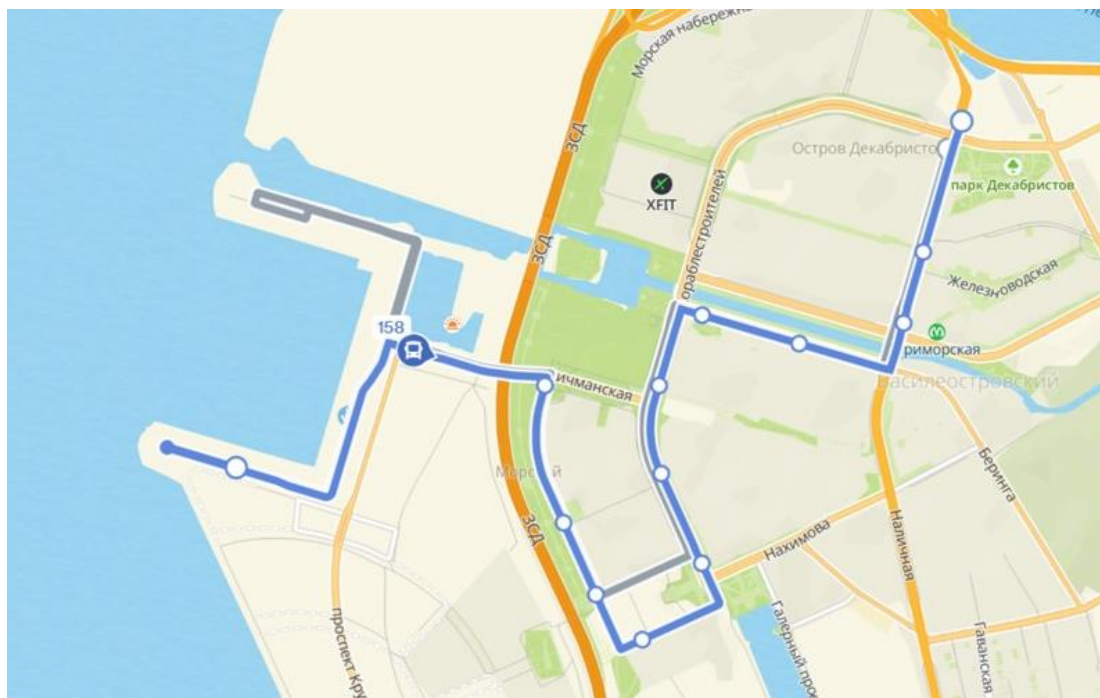


Рисунок 1 – Трасса маршрута №158

Благодаря изменению участка трассы маршрута, непосредственно пролегающему по намывным территориям, значение показателя дальности подхода пассажиров к остановочным пунктам снизится, что, в свою очередь, приведёт к повышению территориальной доступности остановочных пунктов.

В рамках совершенствования расписания движения подвижного состава на маршруте уменьшится временной интервал между рейсами, что свидетельствует об улучшении такого показателя качества, как своевременность.

Данный маршрут обслуживается СПб ГУП «Пассажиравтотранс», на маршруте эксплуатируются автобусы модели НЕФАЗ 5299-0000040-52 с пассажироместимостью 111 чел. [11] и работает на маршруте с 06:00 до 00:00 в будние и выходные дни. Протяжённость маршрута составляет 8,5 км и 7,12 км в прямом и обратном направлении соответственно.

Также была определена годовая производственная программа для базового варианта маршрута №158 (табл. 1). Информация получена, основываясь на данных с официального сайта «Пассажиравтотранса», Комитета по транспорту, а также «Организатора перевозок» [12-14].

Таблица 1 – Годовая производственная программа (базовый вариант)

Показатель	Условное обозначение	Значение
Объём перевозок в год, пасс/год	$Q_{\text{год}}$, пасс/год	561 096
Пассажирооборот в год, пасс·км/год	$P_{\text{год}}$, пасс·км/год	1 596 233
Автомобиле-дни в хозяйстве в год, а-дн/год	$АД_{\text{х}}$, а-дн/год	1 098
Автомобиле-дни в эксплуатации в год, а-дн/год	$АД_{\text{э}}$, а-дн/год	732
Автомобиле-часы в эксплуатации в год, а-ч/год	$АЧ_{\text{э}}$, а-ч/год	10 916,07
Общий пробег в год, км	$L_{\text{общ год}}$, км	157 628,9
Производственный пробег в год, км	$L_{\text{м год}}$, км	131 408,6

2 Материалы и методы

В первую очередь, для подтверждения необходимости внедрения изменений требовалось провести исследование маршрута в базовом варианте. В ходе проведения данного исследования была проанализирована трасса движения подвижного состава на маршруте.

Кроме того, был определён суточный объём перевозок на маршруте для будних и выходных дней. Вышеуказанный показатель был рассчитан, основываясь на данных, полученных в ходе проведения обследования пассажиропотоков непосредственно в транспортном средстве с помощью визуального (глазомерного) метода. Настоящий метод относится к группе натуральных обследований, отличительной особенностью которых является получение данных о передвижениях пассажиров непосредственно после взаимодействия с пассажирами. Визуальный (глазомерный) метод заключается в подсчёте количества вошедших и вышедших пассажиров на каждом остановочном пункте, что, в свою очередь, также позволяет выявить остановочные пункты с максимальным и минимальным значением пассажирообмена [15].

Далее, воспользовавшись данными застройщика, был проведён анализ намывных территорий западной части Васильевского острова, в ходе которого было определено расположение жилых комплексов как строящихся (рис. 2), так и уже введённых в эксплуатацию, а также определены значения площади жилых помещений. Полученная информация позволила рассчитать количество потенциальных пассажиров, заинтересованных в изменённом участке маршрута.



Цвета на карте обозначены: розовым – ЖК, построенные к 2024 году, желтым – ЖК, которые будут построены к 2026 году; цифрами обозначены: 1- ЖК «Golden City», 2 – ЖК «Светлый мир. Тихая гавань», 3 – ЖК «Светлый мир. Я романтик» 1-6 корпус, 4 – ЖК «Светлый мир. Я романтик» 7-10 корпус, 5 – ЖК «Аквилон Zalive», 6 – ЖК «Гавань капитанов», 7 – ЖК «Морская набережная. SeaView», 8 – ЖК «Морская набережная. SeaView», 9, 10 – ЖК «GloriaX Василеостровский»

Рисунок 2 – Расположение жилых комплексов

Далее в табл. 2 представлены данные о количестве жителей исследуемой территории, полученные согласно проектной документации.

Таблица 2 – Информация по количеству жителей новостроек

Наименование ЖК	Общая площадь жилых помещений, м ²	Количество проживающих человек, чел.
Дома, введенные в эксплуатацию к 2024 г.		
ЖК «Гавань капитанов»	117 212,46	3 551
ЖК «Капитан Немо»	29 989,26	908
ЖК «Светлый мир. Я романтик»	249 117	7 549
ЖК «Golden City»	58 024	1 758
ЖК «Морская набережная. SeaView» 1-я очередь	38 681	1 172
ЖК «Аквилон Zalive»	66 207	2 006
ЖК «Светлый мир. Тихая гавань»	26 653,3	807
Итого:		15 940
Дома, которые будут построены к 2026 г.		
ЖК «GlofaX Василеостровский»	68 754	1 780
ЖК «Морская набережная. SeaView» 2-я очередь	67 960	2 059
Итого:		3 839

Кроме того, была изучена схема расположения проектируемого участка улично-дорожной сети намывных территорий, которая согласно проектной документации на строительство УДС будет введена в эксплуатацию к концу 2026 года [16, 17].

Также важно отметить, что все разработанные мероприятия применимы для внедрения к моменту ввода улично-дорожной сети намывных территорий в эксплуатацию.

3 Результаты исследований

Проанализировав данные, полученные в результате изучения исследуемой территории (табл. 2), был рассчитан прогнозируемый суточный объем перевозок.

В первую очередь была определена общая численность населения намывных территорий западной части Васильевского острова к концу 2026 года, поскольку именно в этот период планируется введение УДС в эксплуатацию, значение показателя составило 19 779 человек.

Далее значение общей численности населения намывных территорий было скорректировано с учётом доли трудоспособного населения, не владеющего личным транспортом и не имеющим возможности воспользоваться альтернативными маршрутами. Также был учтён объем перевозок в базовом варианте. Таким образом, прогнозируемый суточный объем перевозок составил 4 187 пасс/сут и 2 931 пасс/сут в будние и выходные дни соответственно.

Кроме того, основываясь на данных, полученных в ходе проведения натурных обследований пассажиропотока на маршруте в базовом варианте, было составлено прогнозируемое распределение объёма перевозок по часам суток. Данная информация представлена в виде гистограмм на рис. 3-6.

Затем, изучив расположение пассажирообразующих пунктов, которыми в данном районе являются жилые комплексы, отмеченные на рис. 2, было решено изменить участок трассы маршрута, непосредственно проходящий по намывным территориям Васильевского острова для улучшения транспортного обслуживания населения.

Исходя из всего вышеперечисленного, было решено проложить трассу маршрута следующим образом (рис.7). Так, после съезда с Мичманской улицы изменённая трасса маршрута будет проходить по проспекту Крузенштерна, далее по улице Челюскина, бульвару Головнина и бульвару Александра Грина. Затем по улице Чирикова и по улице Лисянского до съезда на Мичманской улице.

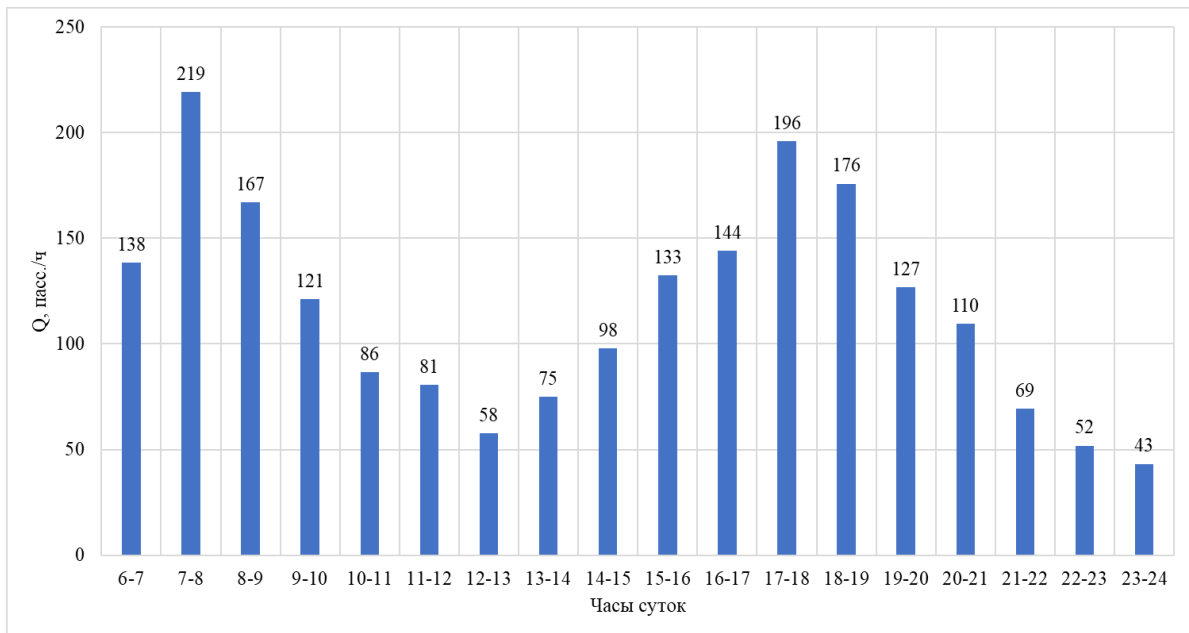


Рисунок 3 – Гистограмма распределения суточного объёма перевозок по часам суток в будние дни (прямое направление)

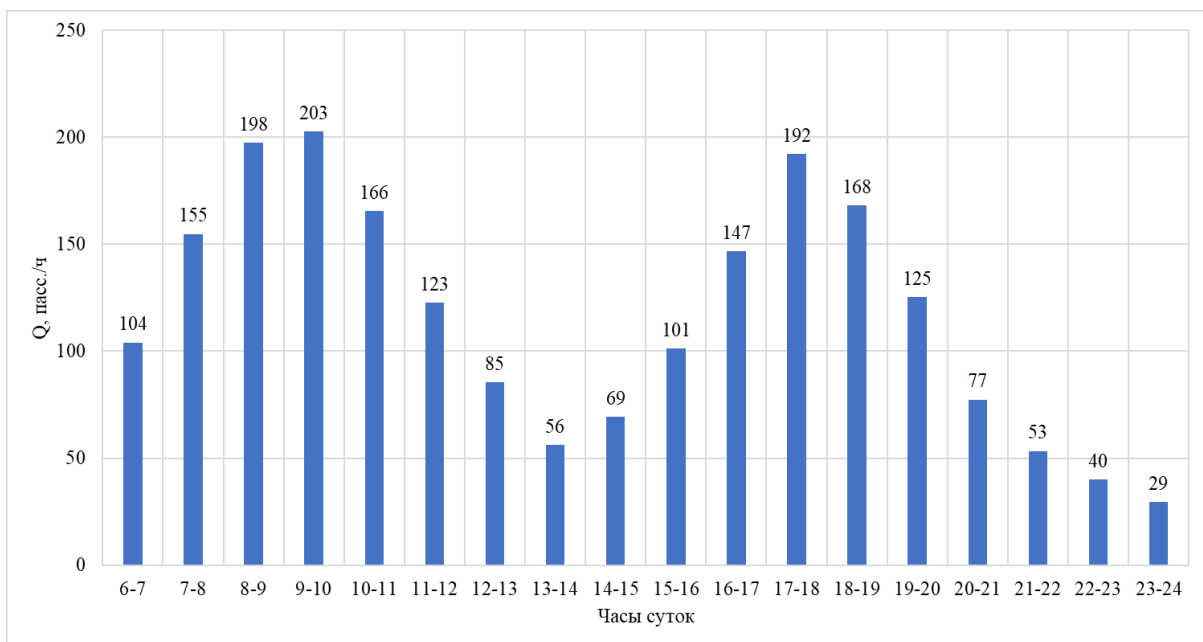


Рисунок 4 – Гистограмма распределения суточного объёма перевозок по часам суток в будние дни (обратное направление)

Помимо этого, было решено изменить расписание движения автобусов, увеличив количество подвижного состава, работающего на маршруте, с двух до трех единиц, в результате чего сократился интервал движения, что в свою очередь говорит об улучшении такого показателя качества как своевременность. Важно отметить, что изменение расписания производилось согласно Положению об особенностях режима рабочего времени и отдыха водителей [18].

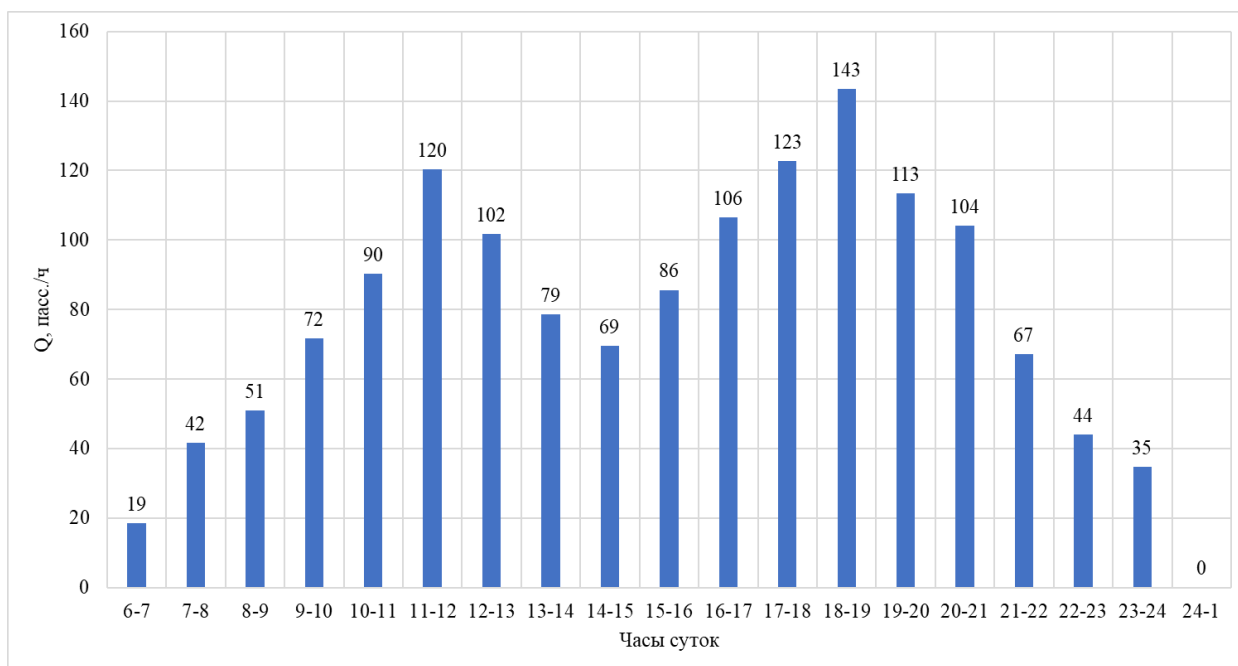


Рисунок 5 – Гистограмма распределения суточного объёма перевозок по часам суток в выходные дни (прямое направление)

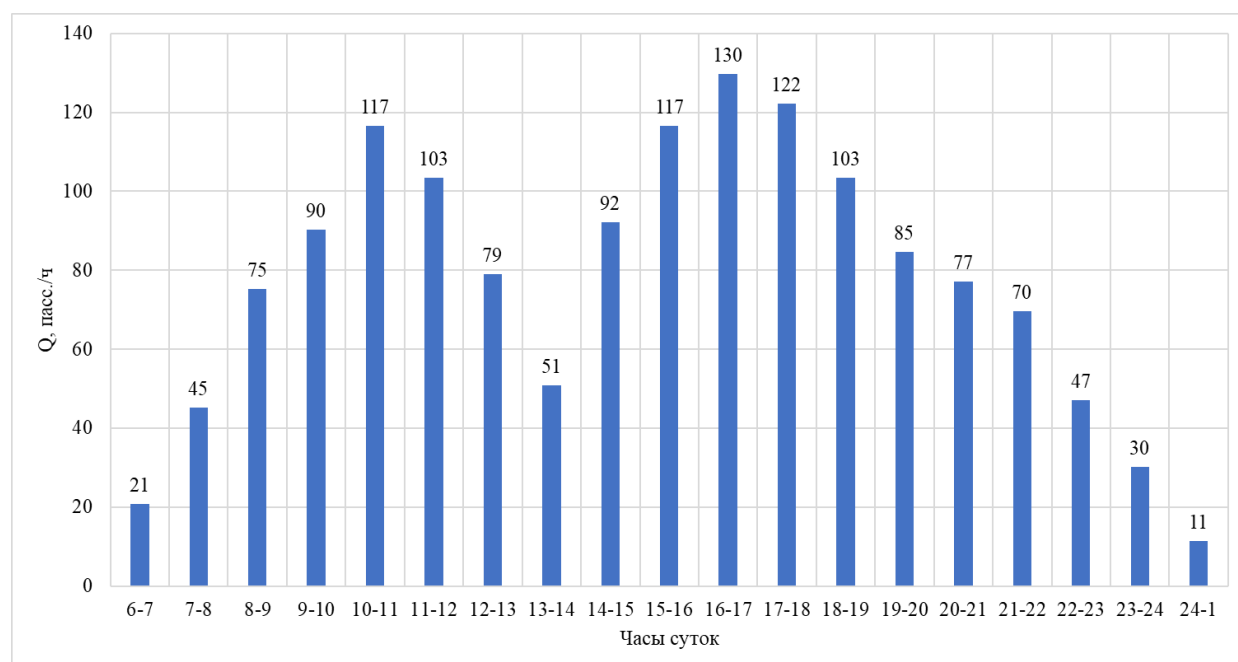


Рисунок 6 – Гистограмма распределения суточного объёма перевозок по часам суток в выходные дни (обратное направление)

Также был проведён анализ изменений годовой производственной программы проектируемого варианта по сравнению с базовым. Данные представлены в табл. 3.

Затем был проведен расчет социального эффекта для того, чтобы оценить изменение качества обслуживания автобусных перевозок благодаря внедрению предложенных мероприятий [19].

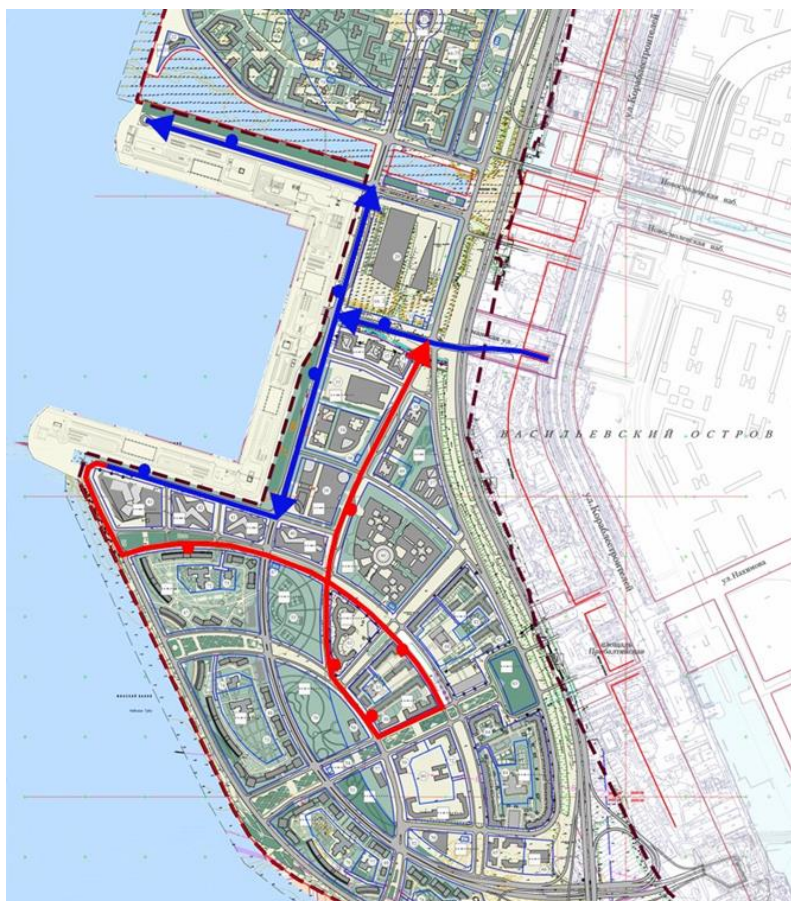


Рисунок 7 – Изменённый участок трассы маршрута №158

Таблица 3 – Анализ изменений годовой производственной программы

Показатель, ед. изм	Базовый вариант	Проект. вариант	Абсолют. отклонение	Темп прироста, %
Объём перевозок в год, пасс/год	561 096	1 308 421	747 325	133,2
Пассажирооборот в год, пасс·км/год	1 596 233	3 843 400,8	2 247 168	140,78
Количество автомобиле-часов в эксплуатации, а-ч/год	10 916,07	19 150,77	8 235	75,44
Общий годовой пробег, км/год	157 628,9	303 661,75	146 825,75	92,64
Общий годовой производительный пробег, км/год	131 408,6	263 234,35	131 825,75	100,03
Коэффициент использования пробега	0,83	0,87	0,03	3,57
Количество автомобилей в эксплуатации, ед.	2	3	1	50
Автомobile-дни в хозяйстве в год, а-дн/год	1 098	1 460	362	32,97
Автомobile-дни в эксплуатации в год, а-дн/год	732	1 095	363	49,59

В табл. 4 приведены данные, отражающие изменения интервала движения подвижного состава на маршруте в зависимости от времени суток, а также указаны значения объёма перевозок пассажиров.

Социальный эффект по временным затратам пассажиров от сокращения временных затрат на ожидание транспорта для каждого часа был определён по формуле 1:

$$\mathcal{E}_c = Q(I_{\text{баз}} - I_{\text{пр}}), \text{ мин/день}, \quad (1)$$

где Q – объём перевозок, пасс/час; $I_{\text{баз}}$ – интервал движения в базовом варианте, мин.; $I_{\text{пр}}$ – интервал движения в проектируемом варианте, мин.

Таблица 4 – Данные для расчёта социального эффекта

Часы суток	Будние дни			Выходные дни		
	Интервал движения, мин		Объем перевозок, пасс/час	Интервал движения, мин		Объем перевозок, пасс/час
	Базовый вариант	Проектируемый вариант		Базовый вариант	Проектируемый вариант	
6-7	29,5	22,69	87	29	22,31	19
7-8	29,5	22,69	134	29	22,31	42
8-9	33	25,43	132	29	22,31	62
9-10	33	25,43	118	31,5	24,25	79
10-11	33	25,43	92	31,5	24,25	101
11-12	33	25,43	74	31,5	24,25	107
12-13	33	25,43	52	31,5	24,25	86
13-14	33	25,43	47	31,5	24,25	61
14-15	33	25,43	60	31,5	24,25	79
15-16	33	25,43	84	31,5	24,25	99
16-17	33	25,43	105	63	24,25	115
17-18	66	25,43	140	63	24,25	118
18-19	66	25,43	124	63	24,25	117
19-20	66	25,43	91	63	24,25	94
20-21	59	21,14	67	63	24,25	86
21-22	59	21,14	44	58	21,14	66
22-23	59	21,14	33	58	22,31	44
23-24	59	21,14	26	58	22,31	31
24-1	-	31,72	-	-	33,47	6

Затем были просуммированы полученные данные, в результате чего рассчитан суточный социальный эффект для буднего и выходного дня, которые составили соответственно 28 127,04 мин/сут и 30 906,88 мин/сут.

Далее был определён годовой социальный эффект, воспользовавшись формулой 2:

$$\mathcal{E}_c = \frac{\mathcal{E}_{c \text{ сут буд}}}{60} \cdot D_{\text{э буд}} + \frac{\mathcal{E}_{c \text{ сут вых}}}{60} \cdot D_{\text{э вых}}, \text{ ч/год}, \quad (2)$$

где $\mathcal{E}_{c \text{ сут буд}}$ – суточный социальный эффект для буднего дня, мин./день; $D_{\text{э буд}}$ – дни нахождения подвижного состава в эксплуатации в будние дни, дн.; $D_{\text{э вых}}$ – дни нахождения подвижного состава в эксплуатации в выходные дни, дн.; $\mathcal{E}_{c \text{ сут вых}}$ – суточный социальный эффект для выходного дня, мин./день.

$$\mathcal{E}_c = \frac{28\,127,04}{60} \cdot 249 + \frac{30\,906,88}{60} \cdot 116 = 177\,041,9 \text{ ч/год}.$$

В табл. 5 приведены данные, отражающие изменения дальности подхода пассажиров к остановочным пунктам в зависимости от расположения жилых комплексов, а также указаны значения объёма перевозок пассажиров.

Далее был рассчитан социальный эффект от сокращения дальности подхода к остановочным пунктам для каждого жилого комплекса в отдельности по формуле 3:

$$\mathcal{E}_c = Q_{\text{год}} (L_{\text{подх баз}} - L_{\text{подх пр}}), \frac{\text{км}}{\text{год}}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{год}}$ – годовой объем перевозок, пасс /год; $I_{\text{баз}}$ – расстояние, преодолеваемое пассажирами до/от остановочных пунктов в базовом варианте, ч.; $I_{\text{пр}}$ – расстояние, преодолеваемое пассажирами до/от остановочных пунктов в проектируемом варианте, ч.

Затем, просуммировав полученные данные, был определен общий годовой социальный эффект от сокращения дальности подхода пассажиров к остановочным пунктам, который составил 164 285,01 км/год.

Кроме того, было проведено сравнение экономических показателей [20] в результате внедрения разработанных мероприятий, данные представлены в виде табл. 6. Важно отметить рост рентабельности в проектируемом варианте по сравнению с базовым на 20,8 %.

Таблица 5 – Данные для расчёта социального эффекта

№ п/п	Наименование жилого комплекса	Дальность подхода в базовом варианте, м	Дальность подхода в проектируемом варианте, м	Количество перевезенных за год пассажиров, пасс/год
1	ЖК «Светлый мир. Тихая Гавань»	265	165	29 859
2	ЖК «Светлый мир. Я романтик», 1-6 корпус	438	208	130 647
3	ЖК «Светлый мир. Я романтик», 7-10 корпус	525	145	148 555
4	ЖК «Аквилон Zalive»	791	314	74 222
5	ЖК «Гавань капитанов», ЖК «Капитан Немо»	664	559	164 983
6	ЖК «Морская набережная. SeaView»	1 080	571	43 364

Таблица 6 – Анализ изменений экономических показателей

Показатель, ед. изм.	Базовый вариант	Проект. вариант	Абсолют. отклонение	Темп прироста, %
Эксплуатационные затраты, руб./год	26 498 034,7	44 610 606,1	19 112 571,4	74,96
Заработная плата водителей с учетом взносов в фонды, руб./год	8 729 593,5	15 433 343,9	6 707 750,4	76,79
Затраты на топливо, руб./год	6 588 108,12	12 691 560,3	6 103 452,18	92,64
Затраты на смазочные и другие эксплуатационные материалы для ПС, руб./год	740 845,5	1 427 190,5	686 345	92,64
Затраты на приобретение и ремонт шин, руб./год	149 015,3	287 068,25	138 052,95	92,64
Затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт ПС, руб./год	295 832,47	569 901,94	274 069,47	92,64
Затраты на амортизацию ПС, руб./год	295 832,47	569 901,94	274 069,47	92,64
Накладные расходы, руб./год	3 055 357,7	3 114 142,56	58 784,86	1,92
Прибыль, руб./год	-9 131 813,6	-6 691 805,1	2 440 008,5	-26,72
Рентабельность, %	-35,8	-15	20,8	-58,10
Годовой экономический эффект, руб./год	-	24 275 502,74	-	-

4 Обсуждение и заключение

Таким образом, в ходе выполненной работы была обоснована значимость маршрутов городского общественного транспорта, обслуживающих районы массовой жилой застройки, исследована трасса автобусного маршрута №158, проходящая по намывным территориям западной части Васильевского острова, а также проведён сравнительный анализ годовой производственной программы и основных экономических показателей. В результате проведения анализа расположения жилых комплексов на намывных территориях дополнительно были разработаны мероприятия, позволяющие повысить уровень качества обслуживания автобусных перевозок.

Далее был определён годовой социальный эффект от сокращения дальности подхода пассажиров к остановочным пунктам, значение которого составило 164 285,01 км/год. Расчёт данного показателя наглядно показывает улучшение качества обслуживания автобусных перевозок с точки зрения доступности.

Кроме того, изменение расписания движения автобусов позволило улучшить своевременность, что, в свою очередь, также подтверждается расчётом социального эффекта от сокращения временных затрат пассажиров на ожидание транспорта, годовое значение которого составило 177 041,9 ч/год.

В то же время, помимо положительного социального эффекта целесообразность внедрения предложенных мероприятий также подтверждается ростом рентабельности.

Список литературы

- 1 Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]: Комитет по строительству – URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/komstroy/> (Дата обращения: 24.08.2024).
- 2 Осотова Д. Как формируются районы новостроек: Намыв Васильевского острова / Д. Осотова // Living, 2021. – 8 с.
- 3 Пассажирыские перевозки: Учебное пособие / О.Н. Ларин. – Челябинск.: 2011. – 121 с.
- 4 ГОСТ Р 51004-96 [Электронный ресурс]: Услуги транспортные. Пассажирыские перевозки. Номенклатура показателей качества. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200010825> (Дата обращения: 21.08.2024).
- 5 Социальный стандарт транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом (утв. распоряжением Министерства транспорта РФ от 31 января 2017 г. № НА-19-р (с изменениями на 10 марта 2021 года). [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/456042774?marker=6500IL> (Дата обращения: 28.08.2024).
- 6 ГОСТ Р 51825-2001 [Электронный ресурс]: Услуги пассажирского автомобильного транспорта. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200028574?ysclid=lx22yh1iqe914674980> (Дата обращения: 01.09.2024).
- 7 ГОСТ Р ИСО 9001-2015 (ISO 9001:2015) [Электронный ресурс]: Системы менеджмента качества. Требования. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124394?ysclid=lx68xz64fs549567242> (Дата обращения: 01.09.2024).
- 8 Правила перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом (утв. Постановлением Правительства РФ от 14.02.2009 N 112) // КонсультантПлюс. (дата обращения: 20.08.2024).
- 9 Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта : Федеральный закон от 08.11.2007 N 259-ФЗ // КонсультантПлюс. (дата обращения: 21.08.2024).
- 10 Портал общественного транспорта Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]: Наземный транспорт / Маршрут № 158. – URL: https://transportspb.com/find/avtobus_158 (Дата обращения: 17.08.2024).
- 11 Официальный сайт ПАО «НЕФАЗ». [Электронный ресурс]: URL: <https://nefaz.ru/?ysclid=lx231ouest50866394> (Дата обращения: 22.08.2024).
- 12 Официальный сайт СПб ГУП «Пассажиравтотранс». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.avtobus.spb.ru/> (Дата обращения: 30.08.2024).
- 13 Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]: Комитет по транспорту – URL: https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c_transport/statistic/ (Дата обращения: 24.08.2024).
- 14 Официальный сайт СПб ГКУ «Организатор перевозок». [Электронный ресурс]: URL: <http://orgp.spb.ru/> (Дата обращения: 21/08.04.2024).
- 15 Шаврина В. С., Чудакова Н. В. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАССАЖИРСКИХ АВТОБУСНЫХ ПЕРЕВОЗОК НА ПРИМЕРЕ МАРШРУТА №169А Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГА // Воронежский научно-технический вестник. 2024. №. 2. С. 49-60. DOI: <https://doi.org/10.34220/2311-8873-2024-52-63> (дата обращения: 01.09.2024).
- 16 Строительство улично-дорожной сети на намывных территориях западной части Василеостровского района: Проектная документация / Научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт – СПб, 2021. – 112 с.
- 17 СП 396.1325800.2018 [Электронный ресурс]: Свод правил. Улицы и дороги населенных пунктов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/552304870?ysclid=lx23cksrwn111731290> (Дата обращения: 25.08.2024).
- 18 Положение об особенностях режима рабочего времени и времени отдыха водителей автомобилей (утв. Приказом Минтранса России от 20.08.2004 N 15) // КонсультантПлюс. (дата обращения: 02.09.2024).
- 19 Гринченко Александр Викторович, Маршкова Марина Викторовна Определение социально-экономической эффективности использования пассажирского транспорта // Т-Comm. 2017. №2. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-sotsialno-ekonomicheskoy-effektivnosti-ispolzovaniya-passazhirskogo-transporta> (дата обращения: 02.09.2024).

20 Расчет экономических показателей деятельности автотранспортного предприятия: методические указания для студентов направления «Технология транспортных процессов» профиля «Организация перевозок на автомобильном транспорте» / сост.: Л.С. Трофимова, С.В. Сорокина, Е.С. Хорошилова. Омск : СибАДИ, 2012. 34 с.

References

1 Official website of the Administration of St. Petersburg [Electronic resource]: Construction Committee - URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/komstroy/> (Accessed: 24.08.2024).

2 Osotova D. How new development areas are formed: Reclamation of Vasilievsky Island / D. Osotova // Living, 2021. - 8 p.

3 Passenger transportation: Textbook / O.N. Larin. - Chelyabinsk.: 2011. - 121 p.

4 GOST R 51004-96 [Electronic resource]: Transport services. Passenger transportation. Nomenclature of quality indicators. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200010825> (Accessed: 21.08.2024).

5 Social standard of transport services for the population when transporting passengers and baggage by road and urban ground electric transport (approved by the order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated January 31, 2017 No. NA-19-r (as amended on March 10, 2021). [Electronic resource]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/456042774?marker=6500IL> (Accessed: 08/28/2024).

6 GOST R 51825-2001 [Electronic resource]: Passenger road transport services. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200028574?ysclid=lx22yh1iqe914674980> (Accessed: 09/01/2024).

7 GOST R ISO 9001-2015 (ISO 9001:2015) [Electronic resource]: Quality management systems. Requirements. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124394?ysclid=lx68xz64fs549567242> (Accessed: 09/01/2024).

8 Rules for the carriage of passengers and baggage by road and urban ground electric transport (approved by RF Government Resolution of 02/14/2009 N 112) // ConsultantPlus. (Accessed: 08/20/2024).

9 Charter of road transport and urban ground electric transport: Federal Law of 11/08/2007 N 259-FZ // ConsultantPlus. (Access date: 21.08.2024).

10 Saint Petersburg public transport portal [Electronic resource]: Ground transport / Route No. 158. - URL: https://transportspb.com/find/avtobus_158 (Access date: 17.08.2024).

11 Official website of PJSC NEFAZ. [Electronic resource]: URL: <https://nefaz.ru/?ysclid=lx231ouest50866394> (Access date: 22.08.2024).

12 Official website of St. Petersburg State Unitary Enterprise Passazhiravtotrans. [Electronic resource]: URL: <https://www.avtobus.spb.ru/> (Access date: 30.08.2024).

13 Official website of the Administration of St. Petersburg [Electronic resource]: Committee on Transport - URL: https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c_transport/statistic/ (Accessed: 24.08.2024).

14 Official website of the St. Petersburg State Institution "Transport Organizer". [Electronic resource]: URL: <http://orgp.spb.ru/> (Accessed: 21/08.04.2024).

15 Shavrina V. S., Chudakova N. V. OPTIMIZATION OF PASSENGER BUS TRANSPORTATION ON THE EXAMPLE OF ROUTE #169A IN ST. PETERSBURG // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. 2024. No. 2. P. 49-60. DOI: <https://doi.org/10.34220/2311-8873-2024-52-63> (Accessed: 09/01/2024).

16 Construction of a street and road network on reclaimed territories in the western part of Vasileostrovsky District: Design documentation / Research and Design and Survey Institute - St. Petersburg, 2021. - 112 p.

17 SP 396.1325800.2018 [Electronic resource]: Code of rules. Streets and roads of populated areas. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/552304870?ysclid=lx23cksrwn111731290> (Accessed: 08/25/2024).

18 Regulation on the specifics of the working hours and rest time of car drivers (approved by Order of the Ministry of Transport of Russia dated 20.08.2004 N 15) // ConsultantPlus. (date of access: 09/02/2024).

19 Grinchenko Alexander Viktorovich, Marshkova Marina Viktorovna Definition of the socio-economic efficiency of using passenger transport // T-Comm. 2017. No. 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-sotsialno-ekonomicheskoy-effektivnosti-ispolzovaniya-passazhirskogo-transporta> (date of access: 09/02/2024).

20 Calculation of economic indicators of the activities of a motor transport enterprise: guidelines for students of the direction "Technology of transport processes" profile "Organization of transportation by road transport" / compiled by: L.S. Trofimova, S.V. Sorokina, E.S. Khoroshilova. Омск: СибАДИ, 2012. 34 p.



УДК 656.1

UDC 656.1

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

**СТАЦИОНАРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ
ФОТОВИДЕОФИКСАЦИИ
ПРАВОНАРУШЕНИЙ ПДД
КАК СПОСОБ БОРЬБЫ
С АВАРИЙНОСТЬЮ**

**STATIONARY COMPLEXES
OF PHOTO AND VIDEO RECORDING
OF TRAFFIC VIOLATIONS AS
A WAY TO FIGHT ACCIDENTS**

Новиков Иван Алексеевич,
д.т.н., профессор, директор Транспортно-технологического института, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород.

Novikov Ivan Alekseevich,
doctor of engineering sciences, professor, director of the Transport and technology institute, Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov, Belgorod.

✉¹ **Печатнова Елена Владимировна**,
к.т.н., доцент кафедры «Организация и безопасность движения», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, e-mail: phukcia@yandex.ru

✉¹ **Pechatnova Elena Vladimirovna**,
candidate of technical sciences, associate professor of the department of "Organization and Traffic Safety", Altai state technical university named after. I.I. Polzunov, Barnaul, e-mail: phukcia@yandex.ru

Кiryushin Иван Иванович,
старший преподаватель кафедры информатики и специальной техники, Барнаульский юридический институт МВД России, г. Барнаул.

Kiryushin Ivan Ivanovich,
senior lecturer, department of computer science and specialized technology, Barnaul law institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Barnaul.

Ильин Юрий Иванович,
старший преподаватель кафедры тактико-специальной подготовки, Сибирский юридический институт МВД России, г. Красноярск.

Ilyin Yuri Ivanovich,
senior lecturer, department of tactical and special training, Siberian law institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Krasnoyarsk.

Аннотация. Одним из ведущих способов борьбы с аварийностью является использование технических средств автоматической фотовидеофиксации (комплексов ФВФ). В работе проведена оценка влияния стационарных комплексов ФВФ на снижение числа дорожных транспортных происшествий (ДТП) на автомобильных дорогах федерального значения в Алтайском крае. Методом оценки выбран сравнительный анализ. Исследование проведено на примере ДТП с пострадавшими и ДТП с материальным ущербом.

Annotation. One of the leading methods of combating accidents is the use of technical means of automatic photo and video recording. The paper assesses the impact of stationary complexes on reducing the number of accidents on federal highways in the Altai Territory. Comparative analysis was chosen as the assessment method. The study was conducted using the example of accidents with victims and accidents with material damage.

Ключевые слова: ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНАЯ АВАРИЙНОСТЬ, КОМПЛЕКСЫ ФОТОВИДЕОФИКСАЦИИ, НАРУШЕНИЯ ПДД, МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ, АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ.

Keywords: ROAD ACCIDENTS, PHOTO AND VIDEO RECORDING COMPLEXES, TRAFFIC VIOLATIONS, METHODS OF ACCIDENT REDUCTION, FEDERAL ROADS.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Аварийность является серьёзной проблемой и выражается в ущербе конкретным жителям и обществу в целом. В последние годы наблюдалось уменьшение скорости снижения показателей аварийности¹, а по итогам 2023 года снижение полностью прекратилось – основные показатели аварийности выросли.

Большая часть ДТП связана с нарушениями правил дорожного движения (ПДД), такими как проезд на запрещающий сигнал светофора, нарушение правил обгона, превышение установленной скорости движения. Соответственно одним из способов снижения аварийности является уменьшение числа правонарушений [1]. Ведущим способом в данной области является использование технических средств автоматической фотовидеофиксации (ФВФ), которые получают широкое распространение в последние годы [2, 3]. Главным способом снижения аварийности с использованием комплексов ФВФ является предотвращение нарушений ПДД путём воздействия на самосознание водителей. Одним из основных преимуществ комплексов ФВФ в сравнении с надзором, осуществляемым сотрудниками Госавтоинспекции является их круглосуточный непрерывный контроль за действиями водителей [4], уменьшение временных и финансовых затрат на проведение административного расследования, предупреждение коррупционных действий [5, 6], отсутствие субъективного фактора при оценке правонарушений [7], а также возможность бесперебойного сбора данных об интенсивности, скорости транспортного потока [8]. При этом у комплексов ФВФ имеется ряд недостатков, среди которых ограниченный перечень правонарушений ПДД, на который они могут быть направлены, мест их размещения (среди которых «аварийно-опасные участки дороги, пешеходные переходы, перекрестки и пр.»²), расстояния между ними («вне населенных пунктов не ближе 5 км друг к другу»³)

Согласно ГОСТ Р 57144-2016 комплексы ФВФ разделяются на стационарные, передвижные, носимые и мобильные. Основная часть комплексов направлена на регистрацию нарушений скоростного режима, особенно высока доля таких ФВФ на дорогах вне населённых пунктов. Снижение скорости транспортного потока особенно на аварийно-опасных участках позволяет снижать число ДТП и их тяжесть, поскольку скорость движения является основным фактором тяжести, а также способствует увеличению вероятности свершения ДТП при возникновении опасной ситуации.

По данным ряда работ [9-11] применение комплексов ФВФ позволяет значительно сократить число аварийно-опасных участков, тем самым улучшить показатели безопасности дорожного движения. В том числе, в работе [12] указывается, что использование средств фотофиксации нарушений ПДД позволяет, во-первых, снижать среднюю скорость на 1-15 % и уменьшать число транспортных средств, превышающих установленные пороги скорости на 14–65 %, что способствует снижению количества аварий всех типов на 20 % и количество смертельных

¹ Печатнова, Е. В. Методика обеспечения безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах федерального значения: специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Печатнова Елена Владимировна. – Омск, 2021. – 171 с.

² Постановление Правительства Российской Федерации от 01.06.2024 № 754 "О размещении стационарных средств фиксации, передвижных средств фиксации или мобильных средств фиксации"

³ Там же

случаев на 51 %. Во-вторых, согласно исследованию [13] рассматриваемые средства позволяют снижать общее число ДТП на 15-19 %, ДТП с пострадавшими – на 20-25 %. При этом другими исследователями отмечаются негативные воздействия комплексов ФВФ. Среди них «эффект кенгуру» [14, 15], в результате которого водители снижают скорость только в месте установки комплекса ФВФ, а сразу после проезда набирают скорость; такое поведение водителей сопрягается с высокой амплитудой скорости движения, что может способствовать аварийным ситуациям. В [16] указывается низкая эффективность камер в отношении ДТП без пострадавших. Кроме того, комплексы ФВФ могут способствовать миграции ДТП, т.е. увеличению числа аварий на других участках дорог из-за перенаправления транспортного потока [17].

В связи с актуальностью проблемы аварийности, дискуссионными результатами исследований в сфере эффективности работы комплексов ФВФ в снижении аварийности, высокой тяжестью последствий ДТП на автомобильных дорогах федерального значения (ФАД) целесообразно проведение исследования, посвящённого оценке воздействия стационарных комплексов ФВФ на количество ДТП на этих дорогах, что и является целью данной работы.

2 Материалы и методы

Основой для проведения исследования выступила система стационарных комплексов ФВФ на автомобильных дорогах федерального значения (ФАД) в Алтайском крае. Для получения информации о местах их установки использована информация с официального сайта Госавтоинспекции [18]. Выделены комплексы ФВФ на ФАД и перенесены на отдельный слой Яндекс.Карты. Результат представлен на рис. 1. Комплексы ФВФ на ФАД А-321, А-322 и Р-256 обозначены различными цветами (жёлтым, зелёным и синим соответственно).

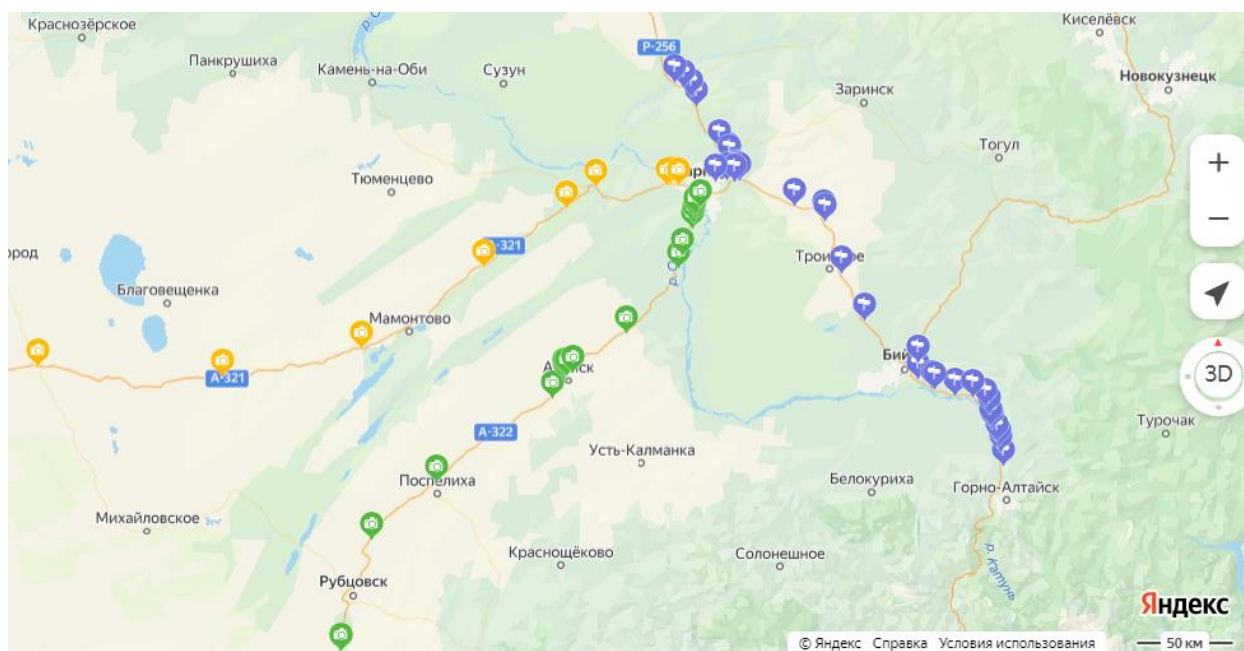


Рисунок 1 – Места размещения стационарных комплексов ФТФ на ФАД Алтайского края

Методом оценки эффективности работы комплекса по снижению числа ДТП выбран сравнительный анализ. Основой метода является сравнение количества ДТП до и после установки комплекса во временном периоде исследования аварийности 2018-2023 годы. Анализировались как ДТП с пострадавшими, так и с материальным ущербом.

Для каждого комплекса определён год его установки. В целях реализации представленного метода выбраны те комплексы, которые были установлены в 2019-2022 годах. Всего выбрано 18 комплексов, их расположение представлено на рис. 2.

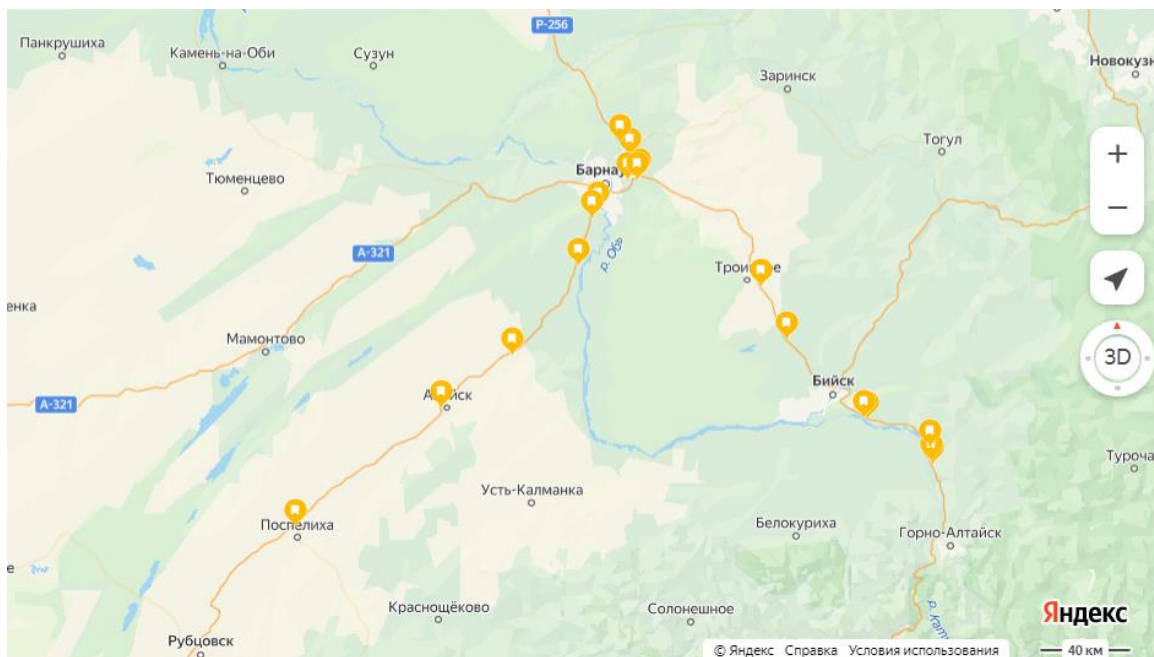


Рисунок 2 – Исследуемые комплексы ФВФ

Определены ДТП, которые произошли вблизи комплекса – в радиусе 500 метров. Указанное значение выбрано в связи с тем, что большая часть автомобильных навигаторов предупреждают водителей о приближении к камере фото-видеофиксации правонарушений ПДД на расстоянии 600-400 метров (за пределами населённых пунктов). Для формирования выборки ДТП, соответствующим указанному условию, производился ввод координат ДТП и измерение расстояния до ближайшего комплекса. Пример измерения представлен на рис. 3.

С целью объективного анализа, учета изменения движения, в том числе увеличение транзитного туристического потока получены данные об интенсивности движения вблизи анализируемых комплексов ФВФ в 2018 и в 2023 годах. Кроме того, получены данные об аварийности на ФАД за аналогичный период.

3 Результаты исследований

По каждому из 18 комплексов ФВФ сформирована итоговая таблица данных, содержащая показатели аварийности вблизи него. Пример результата представлен в табл. 1.

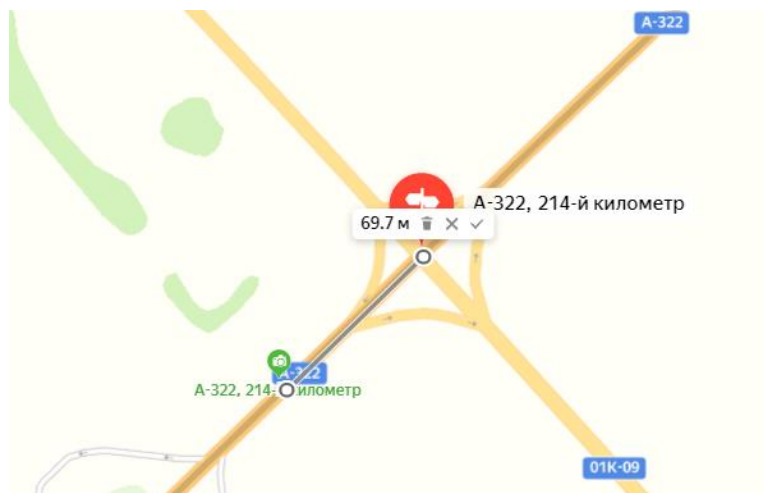


Рисунок 3 – Пример измерения расстояния от места ДТП до комплекса ФВФ

Таблица 1 – Результат оценки аварийности вблизи комплекса ФТФ

Год	ДТП с пострадавшими	ДТП с материальным ущербом	Общее число ДТП
2018	1	1	2
2019	2	0	2
2020	0	1	1
2021	1	0	1
2022	0	2	2
2023	0	1	1

Серым выделен год установки комплекса ФТФ. При расчётах данные о количестве ДТП по этому году не учитывались.

Для каждого комплекса ФТФ по трём показателям аварийности (ДТП с пострадавшими, ДТП с материальным ущербом, общее число ДТП) рассчитана величина эффективности:

$$E_i = \frac{C_{prev}}{C_{next}} \quad (1)$$

где E_i – эффективность по i -ому показателю аварийности; C_{prev} – среднее число ДТП/год за период до установки комплекса; C_{next} – среднее число ДТП/год за период после установки комплекса.

В ряде случаев величина эффективности по показателям ДТП с пострадавшими или ДТП с материальным ущербом не была рассчитана в связи с отсутствием соответствующих значений в периоде до установки комплекса.

Размах вариации E_i составил 2,00: минимальное значение составило 0,25 (уменьшение аварийности в 4 раза) до 2,25. Определены средние величины E_i по каждому из трёх показателей среди выделенных комплексов ФВФ:

$$E_i = \begin{cases} 1,12, & \text{где } i - \text{ДТП с материальным ущербом;} \\ 0,53, & \text{где } i - \text{ДТП с пострадавшими;} \\ 1,07, & \text{где } i - \text{общее число ДТП.} \end{cases} \quad (2)$$

Полученное выражение (2) отражает результаты оценки средней эффективности использования стационарных комплексов ФВФ для снижения числа ДТП. При этом следует учитывать, что за исследуемый период времени (2018-2023) произошли значительные изменения интенсивности транспортного потока в регионе. Анализ среднесуточной годовой интенсивности движения показал, что в среднем величина интенсивности на ФАД Алтайского края по итогам 2023 года увеличилась по отношению к 2018 году в 1,31 раза (вблизи анализируемых комплексов). Это безусловно является одним из ведущих факторов, оказывающих влияние на аварийность: за аналогичный период отмечено увеличение числа ДТП в 1,20 раза. Представленные дополнительные показатели необходимо учитывать при формировании выводов по эффективности работы комплексов ФВФ.

4 Обсуждение и заключение

Проведённый сравнительный анализ показал, что комплексы ФВФ оказывают воздействие на изменение аварийности на ФАД. По всем исследуемым комплексам ФВФ отмечено снижение количества ДТП с пострадавшими после установки комплекса. Средняя величина снижения составила 0,53, что свидетельствует о том, что в среднем стационарный комплекс ФВФ позволяет снизить число ДТП в 2 раза. Однако стоит отметить, что вблизи большинства исследуемых комплексов все же продолжают происходить ДТП (в среднем 0,6 ДТП в год), что является достаточно высоким числом (учитывая применённый радиус действия комплекса ФВФ – 1 км). Это говорит о том, что для полного предупреждения ДТП требуется использование дополнительных мер.

На снижение ДТП с материальным ущербом стационарные комплексы ФВФ в среднем не оказывают влияния, хотя по 5 комплексам (что составляет 28 % от общего числа исследуемых комплексов) отмечено снижение выбранного показателя аварийности. При этом, сравнивая величину эффективности комплекса по показателю ДТП с материальным ущербом (1,12) с величиной увеличения интенсивности движения (1,31), можно сделать вывод о том, что определённое положительное влияние на безопасность движения комплексы ФВФ оказывают.

Различие в величине влияния комплексов ФВФ на показатели аварийности объясняется тем, что основное назначение комплекса заключается в снижении скорости транспортного потока, что является основным фактором влияния на показатель тяжести последствий.

Значительный рост интенсивности движения, в частности транзитного транспортного потока оказывает отрицательное влияние на безопасность движения на ФАД и ведёт к росту показателей аварийности. В связи с этим, для предупреждения ДТП с пострадавшими, достижения целевых показателей при прогнозируемом дальнейшем увеличении интенсивности движения на ФАД, требуется дальнейшее использование и развитие системы стационарных комплексов ФВФ.

Проведённое исследование имеет теоретическую и практическую значимость: результаты оценки средней эффективности использования стационарного комплекса ФВФ по показателям аварийности развивают теорию в области методов снижения дорожно-транспортной аварийности и могут быть использованы ответственными организациями при принятии решений о местах установки стационарных комплексов ФВФ.

Список литературы

- 1 Mesfin, T. R. Analysis of Traffic Violations and Accidents with Enforcement: A Study in Jimma Town / T. R. Mesfin, E. K. Kenea // *Int. J. Environ.Eng. Educ.* – 2022. – vol. 4. – no. 1. – pp. 11-18. DOI: 10.55151/ijeedu.v4i1.69.
- 2 Кукасов, М. В. К вопросу о привлечении к административной ответственности за нарушение правил дорожного движения при использовании средств автоматической фиксации нарушений / М. В. Кукасов, Д. Ю. Каширский // *Безопасность дорожного движения.* – 2022. – № 2. – С. 28-30.
- 3 Li, H. A causal analysis of time-varying speed camera safety effects based on the propensity score method / H. Li, Y. Zhang, G. Ren // *Journal of Safety Research.* – 2020. – 75. – DOI: 10.1016/j.jsr.2020.08.007.
- 4 Huitao Lv. The impacts of non-motorized traffic enforcement cameras on red light violations of cyclists at signalized intersections / Lv Huitao, Li Haojie, Sze N.N., Ren, Gang // *Journal of Safety Research.* – 2022. – 83. DOI:10.1016/j.jsr.2022.09.005.
- 5 Зайцев, А. А. Использование комплексов фотовидеофиксации правонарушений как направление предупреждения дорожно-транспортных преступлений / А. А. Зайцев, В. Б. Шерстнев // *Деятельность правоохранительных органов в современных условиях : Сборник материалов XXIII международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Иркутск, 24–25 мая 2018 года. Том II.* – Иркутск: Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, 2018. – С. 272-276.
- 6 Conover, E. The effect of traffic cameras on police effort: Evidence from India / E. Conover, D. Kraynak, P. Singh // *Journal of Development Economics.* – 2022. – 160. – 102953. DOI: 10.1016/j.jdevec.2022.102953.
- 7 Костин, С. В. Некоторые особенности построения систем электропитания комплексов системы автоматической фотовидеофиксации нарушений ПДД / С. В. Костин, Д. С. Мишин // *Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования.* – 2021. – № 1(4). – С. 228-233.
- 8 Бояршинов, М. Г. Использование комплекса фотовидеофиксации нарушений правил дорожного движения для выделения детерминированной и стохастической составляющих интенсивности транспортного потока / М. Г. Бояршинов, А.С. Вавилин, А. Г. Шумков // *Интеллект. Инновации. Инвестиции.* – 2021. – №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-kompleksa-fotovideofiksatsii-narusheniy-pravil-dorozhno-dvizheniya-dlya-vydeleniya-determinirovannoy-i> (дата обращения: 09.08.2024).
- 9 Майоров, В. И. Совершенствование использования технических средств фотовидеофиксации нарушений правил дорожного движения на основе цифровых технологий / В. И. Майоров // *Безопасность дорожного движения.* – 2023. – № 3. – С. 44-48.

10 Hien, N.X. Determination of the Location of the Photo- and Video-Fixation System of Traffic Rules in the Context of Vietnam / Hien, N.X., Van Anh, V.T., Alexandrovich, K.G. // *Lecture Notes in Networks and Systems*. – 2023. – vol 602. DOI: 10.1007/978-3-031-22200-9_38.

11 Bolsunovskaya, M. Development of an information system structure for photo-video recording of traffic violations. / M. Bolsunovskaya, A. Leksashov, S. Shirokova, V. Tsygan // *E3S Web of Conferences*. – 2021. – 244. – 07007. DOI: 10.1051/e3sconf/202124407007.

12 Farmer, C. Photo/Video Traffic Enforcement. / C. Farmer // *International Encyclopedia of Transportation*. – 2021. – 439-442. DOI: 10.1016/b978-0-08-102671-7.10167-8.

13 Jaramillo, C. Impact evaluation of camera enforcement for traffic violations in Cali / C. Jaramillo, A. Fandiño-Losada, H. Vivas // *Accident Analysis & Prevention*. – 2019. – 125. – 267-274. DOI: 10.1016/j.aap.2019.02.002.

14 Королева, Е. Г. О функционировании автоматизированных комплексов фотовидеофиксации нарушений правил дорожного движения (в рамках национального проекта «безопасные и качественные автомобильные дороги») / Е. Г. Королева // *Современное состояние и перспективы обеспечения безопасности дорожного движения: теория и практика: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Орел, 21 ноября 2019 года / Редколлегия: О.Е. Губенков [и др.]*. – Орел: Орловский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации имени В.В. Лукьянова, 2020. – С. 100-105.

15 Marciano, H. Overt vs. covert speed cameras in combination with delayed vs. immediate feedback to the offender. / H. Marciano // *Accident; analysis and prevention*. – 2015. – 79. DOI: 10.1016/j.aap.2015.03.028.

16 Willardsen, K. Effects of Speed Cameras on Intersection Accidents: Evidence from Dayton. / K. Willardsen // *Review of Regional Studies*. – 2021. – 51. DOI: 10.52324/001c.30972 https://www.researchgate.net/publication/357244499_Effects_of_Speed_Cameras_on_Intersection_Accidents_Evidence_from_Dayton.

17 Нюе, А. Speed cameras, section control, and kangaroo jumps—a meta-analysis. / A. Нюе // *Accident Analysis & Prevention*. – 2014. – 73. – 200–208. DOI: 10.1016/j.aap.2014.09.001.

18 Сведения о состоянии показателей безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]. – URL: <http://stat.gibdd.ru/>.

References

1 Mesfin, T. R. Analysis of Traffic Violations and Accidents with Enforcement: A Study in Jimma Town / T. R. Mesfin, E. K. Kenea // *Int. J. Environ.Eng. Educ.* - 2022. - vol. 4. - no. 1. - pp. 11-18. DOI: 10.55151/ijeedu.v4i1.69.

2 Kukasov, M. V. On the issue of bringing to administrative responsibility for violation of traffic rules when using automatic violation recording devices / M. V. Kukasov, D. Yu. Kashirsky // *Road Safety*. - 2022. - No. 2. - P. 28-30.

3 Li, H. A causal analysis of time-varying speed camera safety effects based on the propensity score method / H. Li, Y. Zhang, G. Ren // *Journal of Safety Research*. – 2020. – 75. – DOI: 10.1016/j.jsr.2020.08.007.

4 Huitao Lv. The impacts of non-motorized traffic enforcement cameras on red light violations of cyclists at signalized intersections / Lv Huitao, Li Haojie, Sze N.N., Ren, Gang // *Journal of Safety Research*. – 2022. – 83. DOI:10.1016/j.jsr.2022.09.005.

5 Zaitsev, A. A. Use of photo and video recording systems for violations as a way to prevent road traffic crimes / A. A. Zaitsev, V. B. Sherstnev // *Activities of law enforcement agencies in modern conditions: Collection of materials from the XXIII international scientific and practical conference. In 2 volumes, Irkutsk, May 24–25, 2018. Volume II*. – Irkutsk: East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, 2018. – P. 272–276.

6 Conover, E. The effect of traffic cameras on police effort: Evidence from India / E. Conover, D. Kraynak, P. Singh // *Journal of Development Economics*. – 2022. – 160. – 102953. DOI: 10.1016/j.jdevec.2022.102953.

7 Kostin, S. V. Some features of the construction of power supply systems for complexes of the automatic photo and video recording system for traffic violations / S. V. Kostin, D. S. Mishin // *Management of road safety activities: status, problems, ways of improvement*. – 2021. – No. 1(4). – P. 228-233.

8 Boyarshinov, M. G. Using a complex for photo and video recording of traffic violations to identify the deterministic and stochastic components of traffic flow intensity / M. G. Boyarshinov, A.S. Vavilin, A. G.

Shumkov // *Intelligence. Innovations. Investments.* - 2021. - No. 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-kompleksa-fotovideofiksatsii-narusheniy-pravil-dorozhnogo-dvizheniya-dlya-vydeleniya-determinirovannoy-i> (date of access: 09.08.2024).

9 Mayorov, V. I. Improving the use of technical means of photo and video recording of traffic violations based on digital technologies / V. I. Mayorov // *Road Safety.* - 2023. - No. 3. - P. 44-48.

10 Hien, N.X. Determination of the Location of the Photo- and Video-Fixation System of Traffic Rules in the Context of Vietnam / Hien, N.X., Van Anh, V.T., Alexandrovich, K.G. // *Lecture Notes in Networks and Systems.* – 2023. – vol 602. DOI: 10.1007/978-3-031-22200-9_38.

11 Bolsunovskaya, M. Development of an information system structure for photo-video re-cording of traffic violations. / M. Bolsunovskaya, A. Leksashov, S. Shirokova, V. Tsygan // *E3S Web of Conferences.* – 2021. – 244. – 07007. DOI: 10.1051/e3sconf/202124407007.

12 Farmer, C. Photo/Video Traffic Enforcement. / C. Farmer // *International Encyclopedia of Transportation.* – 2021. – 439-442. DOI: 10.1016/b978-0-08-102671-7.10167-8.

13 Jaramillo, C. Impact evaluation of camera enforcement for traffic violations in Cali / C. Jaramillo, A. Fandiño-Losada, H. Vivas // *Accident Analysis & Prevention.* – 2019. – 125. – 267-274. DOI: 10.1016/j.aap.2019.02.002.

14 Koroleva, E. G. On the functioning of automated photo-video recording systems for traffic violations (within the framework of the national project "safe and high-quality roads") / E. G. Koroleva // *Current state and prospects for ensuring road safety: theory and practice: Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference, Orel, November 21, 2019* / Editorial board: O.E. Gubenkov [et al.]. - Orel: Oryol Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation named after V.V. Lukyanov, 2020. - P. 100-105.

15 Marciano, H. Overt vs. covert speed cameras in combination with delayed vs. immediate feedback to the offender. / H. Marciano // *Accident; analysis and prevention.* – 2015. – 79. DOI: 10.1016/j.aap.2015.03.028.

16 Willardsen, K. Effects of Speed Cameras on Intersection Accidents: Evidence from Dayton. / K. Willardsen // *Review of Regional Studies.* – 2021. – 51. DOI: 10.52324/001c.30972 https://www.researchgate.net/publication/357244499_Effects_of_Speed_Cameras_on_Intersection_Accidents_Evidence_from_Dayton.

17 Høyе, A. Speed cameras, section control, and kangaroo jumps—a meta-analysis. / A. Høyе // *Accident Analysis & Prevention.* – 2014. – 73. – 200–208. DOI: 10.1016/j.aap.2014.09.001.

18 Information on the state of road safety indicators [Electronic resource]. – URL: <http://stat.gibdd.ru/>.

© Новиков И. А., Печатнова Е. В., Кирюшин И. И., Ильин Ю. И., 2024



УДК 65-01

UDC 65-01

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

РАЗРАБОТКА ДВУХФАКТОРНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ КОЛИЧЕСТВА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ С УЧАСТИЕМ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

DEVELOPMENT A TWO-FACTOR MATHEMATICAL MODEL FOR ESTIMATING THE NUMBER OF ROAD ACCIDENTS INVOLVING PASSENGER TRANSPORTATION ACCIDENTS INVOLVING PASSENGER TRANSPORT

Котов Роман Алексеевич, аспирант, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Kotov Roman Alekseevich, postgraduate, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

✉¹ **Дорохин Сергей Владимирович**, д.т.н., декан автомобильного факультета, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, e-mail: dsvvrn@yandex.ru

✉¹ **Dorokhin Sergey Vladimirovich**, doctor of technical sciences, dean of the automotive faculty, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: dsvvrn@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрена аварийность пассажирского транспорта, определены перспективные пути развития данного вида транспорта и основные целевые показатели в соответствии с Транспортной стратегией. Выполнен анализ основных факторов, влияющих на развитие пассажирского транспорта – пассажирооборот и наличие подвижного состава и разработана двухфакторная модель, позволяющая оценить изменение показателя аварийности в зависимости от изменения исследуемых факторов.

Annotation. The article considers the accident rate of passenger transport, determines perspective ways of development of this type of transport and the main target indicators in accordance with the Transport Strategy. The analysis of the main factors affecting the development of passenger transport - passenger turnover and availability of rolling stock - is carried out and a two-factor model is developed, which allows estimating the change in the accident rate depending on the changes in the factors under study.

Ключевые слова: ПАССАЖИРСКИЙ ТРАНСПОРТ, ВОРОНЕЖСКАЯ ОБЛАСТЬ, АВАРИЙНОСТЬ, КОЛИЧЕСТВО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА, ПАССАЖИРООБОРОТ, ДВУХФАКТОРНАЯ РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ.

Keywords: PASSENGER TRANSPORTATION, VORONEZH REGION, ACCIDENT RATE, NUMBER OF ROLLING STOCK, PASSENGER TURNOVER, TWO-FACTOR REGRESSION MODEL.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Согласно Транспортной стратегии Российской Федерации к 2035 года [1] пассажиропоток во внутреннем сообщении вырастет на 37 % по сравнению с 2019 г., в свою очередь, средний прирост пассажирооборота транспорта общего пользования в российских городах к 2035 г. по сравнению с тем же базовым годом составит 11 %. Таким образом, запланированное перераспределение пассажиропотока в городах создаст определённую нагрузку на общественный транспорт, что повлияет на изменение маршрутов, а также номенклатуру подвижного состава с целью обеспечения непрерывности данного процесса и его безопасность.

В первую очередь такие изменения будут происходить в густонаселённых городах – городах-миллионниках, к числу которых относится г. Воронеж. Следует отметить, что согласно данным Воронежстат, представленным на официальном сайте [2], за период 2017-2022 гг. перевозки пассажиров автобусными видами транспорта изменились, наблюдается определённое снижение спроса на данный вид транспорта, которое может быть объяснимо недавней пандемией, а также изменением маршрутов, связанных с реформированием пассажирской системы г. Воронеж и Воронежской области в целом (табл. 1).

Таблица 1 – Перевозки пассажиров по отдельным видам транспорта общего пользования

Год	Перевозки пассажиров автобусным транспортным общего пользования, млн. чел.
2017	201,1
2018	224
2019	206,1
2020	158,2
2021	126,1
2022	146,3

В свою очередь, общее количество происшествий с участием водителей автобусов за рассматриваемый период 2017-2022 гг. увеличилось (рис. 1). Это свидетельствует о необходимости более тщательной проработки данного вопроса с учётом планируемого увеличения пассажирооборота. За рассматриваемый период в таких происшествиях погибло 44 человека и получили ранение 837 человек. Следует отметить, что безопасности пассажирского транспорта сегодня посвящено большое количество научных трудов, в которых даны определённые рекомендации по изменению ситуации, в частности её улучшения, связанные, в первую очередь, с ужесточением контроля за техническим состоянием пассажирских транспортных средств, а также повышением уровня знаний у водителей рассматриваемых транспортных средств [3-8].

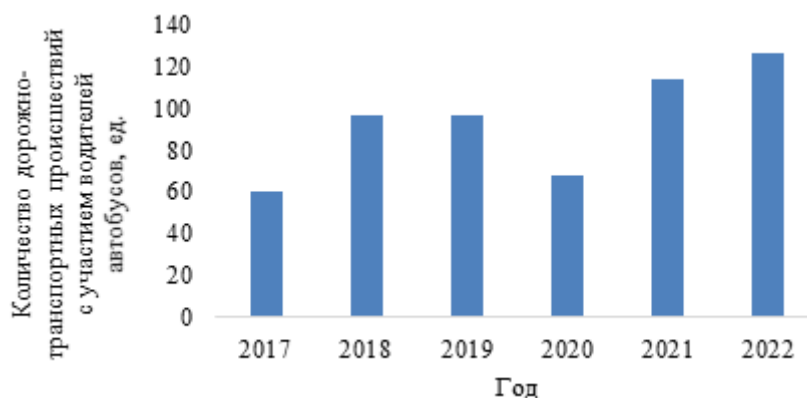


Рисунок 1 – Количество дорожно-транспортных происшествий в Воронежской области с участием водителей автобусов за период 2017-2022 гг.

С учётом установленных показателей роста пассажиропотока и изменения количества происшествий необходимым мероприятием является оценка изменения ситуации с учётом анализа двух факторов, таких как: пассажиропоток и количество подвижного состава. Двухфакторные модели позволяют оценить значимость каждого фактора и степень их влияния на рассматриваемый показатель, в нашем случае на количество дорожно-транспортных происшествий. Следует отметить, что в научной практике имеется ряд работ, посвящённых исследованию влияния определённых показателей на состояние аварийности [9-12].

2 Материалы и методы

Для исследования использован многофакторный анализ. В данном случае в качестве критерия (показателя) безопасности дорожного движения « Y » принята величина количества дорожно-транспортных происшествий с участием водителей пассажирского транспорта. Ввиду неполного информирования по показателям аварийности в общедоступной базе данных государственной автомобильной инспекции, представленной на сайте показателей состояния безопасности дорожного движения [13], в качестве исследуемого параметра определён показатель «дорожно-транспортные происшествия из-за нарушения правил дорожного движения (ПДД) водителями автобусов». Следует отметить, что начиная с 2022 года показатели в общей статистической базе данных были немного изменены и появилась возможность отдельного анализа такого показателя как «Дорожно-транспортные происшествия (ДТП) с участием автобусов». Использование данного показателя в исследовании не представляется возможным в связи с неполным информированием по рассматриваемому периоду 2017-2022 гг., в котором «ДТП с участием автобусов» не было представлено. В связи с этим, в качестве первого рассматриваемого фактора (x_1) принят показатель пассажирооборота автомобильного транспорта общего пользования в млн. пассажирокилометров (рис. 2) и второго фактора (x_2) – наличие эксплуатационных автобусов, выполняющих перевозки по маршрутам регулярных перевозок, ед. (рис. 3). Все рассматриваемые параметры определены для отдельного субъекта – Воронежской области.



Рисунок 2 – Пассажирооборот автомобильного транспорта общего пользования Воронежской области



Рисунок 3 – Наличие эксплуатационных автобусов, выполняющих перевозки по маршрутам регулярных перевозок в Воронежской области

По полученным данным (рис. 2, 3) была построена двухфакторная регрессионная линейная модель:

$$Y = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2, \quad (1)$$

где Y – исследуемый параметр – количество ДТП по причине нарушения ПДД водителями пассажирского транспорта, ед.; x_1 – пассажирооборот автомобильного транспорта общего пользования, млн. пассажиро-километров; x_2 – наличие эксплуатационных автобусов, выполняющих перевозки по маршрутам регулярных перевозок, ед.; a , b_1 , b_2 – эмпирические коэффициенты.

3 Результаты исследований

Основная задача при выполнении многофакторного анализа заключается в поиске значений коэффициентов a , b_1 и b_2 на основе алгоритма выполнения многофакторного регрессионного анализа, подробно описанных в научном направлении анализа данных – эконометрике [14, 15]. Находимые для расчёта данные представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Значения параметров и факторов для выполнения многофакторного регрессионного анализа

Год	№ п/п	y	x_1	x_2	yx_1	yx_2	x_1x_2
2017	1	60	2400,9	3202	144054	192120	7687681,8
2018	2	97	2578,6	3397	250124,2	329509	8759504,2
2019	3	97	2405,8	3067	233362,6	297499	7378588,6
2020	4	68	1806,4	2819	122835,2	191692	5092241,6
2021	5	114	2137,9	2502	243720,6	285228	5349025,8
2022	6	126	2465,4	2426	310640,4	305676	5981060,4
Σ		562	13795	17413	1304737	1601724	40248102,4
Среднее значение		93,67	2299,17	2902,17	217456,17	266954,00	6708017,07

Продолжение табл. 2

Год	№ п/п	x_1^2	x_2^2	y^2	\hat{y}	$y - \hat{y}$	$(y - \hat{y})^2$	A_i
2017	1	5764320,81	10252804	3600	83,12	-23,12	534,49	38,53
2018	2	6649177,96	11539609	9409	83,17	13,83	191,20	14,26
2019	3	5787873,64	9406489	9409	91,01	5,99	35,87	6,17
2020	4	3263080,96	7946761	4624	67,80	0,20	0,04	0,30
2021	5	4570616,41	6260004	12996	106,16	7,84	61,40	6,87
2022	6	6078197,16	5885476	15876	130,74	-4,74	22,43	3,76
Σ		32113266,94	51291143	55914	562	-	845,42	69,89
Среднее значение		5352211,16	8548523,83	9319,00	93,67	-	140,90	11,65

С использованием данных были определены значения парных коэффициентов корреляции по формулам:

$$r_{yx_1} = \frac{cov(y, x_1)}{\sigma_y \sigma_{x_1}}, \quad (2)$$

$$r_{yx_2} = \frac{cov(y, x_2)}{\sigma_y \sigma_{x_2}}, \quad (3)$$

$$r_{x_1x_2} = \frac{cov(x_1, x_2)}{\sigma_{x_1} \sigma_{x_2}}, \quad (4)$$

где σ_y , σ_{x_1} , σ_{x_2} – среднеквадратические отклонения признаков.

Расчёт по формулам 2, 3 и 4 позволил определить значения коэффициентов корреляции, которые составили 0,35, -0,59 и 0,39 соответственно.

Далее были определены коэффициенты b_1 , b_2 и a с использованием формул:

$$b_1 = \frac{\sigma_y}{\sigma_{x_1}} \cdot \frac{r_{yx_1} - r_{yx_2}r_{x_1x_2}}{1 - r_{x_1x_2}^2}, \quad (5)$$

$$b_2 = \frac{\sigma_y}{\sigma_{x_2}} \cdot \frac{r_{yx_2} - r_{yx_1}r_{x_1x_2}}{1 - r_{x_1x_2}^2}, \quad (6)$$

$$a = \bar{y} - b_1\bar{x}_1 - b_2\bar{x}_2. \quad (7)$$

На данном этапе было получено уравнение двухфакторной регрессии вида (8), расчёт с использованием которого позволил получить необходимые данные, представленные в табл. 2 и произвести дальнейшие действия для оценки достоверности модели:

$$\hat{y} = 114,29 + 0,06x_1 - 0,06x_2. \quad (8)$$

Средняя ошибка аппроксимации, определённая методом наименьших квадратов, составила 11 %. Адекватность уравнения (8) была подтверждена с помощью критерия Фишера: расчётное значение F -критерия ($F_{\text{факт}}$), как отношение факторной к остаточной дисперсии, составило 4,31, а табличное значение F -критерия ($F_{\text{табл}}$) – 3,39. Следовательно, гипотеза об адекватности уравнения (8) не отвергается, т.к. $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$. Значимость коэффициентов регрессии a , b_1 и b_2 подтвердилась с помощью критерия Стьюдента (t -критерия).

4 Обсуждение и заключение

В ходе выполненного исследования была получена двухфакторная регрессионная модель (формула (8)), имеющая корреляционную связь факторов x_1 и x_2 с критерием Y при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,74$). Это доказывает наличие связи, позволяющей оценить изменение условного количества ДТП с участием автобусов при изменении пассажирооборота и численности подвижного состава на регулярных рейсах. Установлено, что увеличение пассажирооборота и сокращение количества подвижного состава на регулярных рейсах, будет способствовать увеличению рассматриваемых типов происшествий в случае отсутствия мероприятий, направленных на их снижение, например, направленных на обучение водителей, усиление контроль-надзорных мероприятий и иных мероприятий. В частности, оценить данное изменение позволил расчёт коэффициентов эластичности при учёте первого и второго фактора, значения которых составили $\bar{\epsilon}_1 = 1,52$ и $\bar{\epsilon}_2 = -1,74$ соответственно для первого и второго рассматриваемого фактора.

Список литературы

- 1 Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года / утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р.
- 2 Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Воронежской области / URL: <https://36.rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 09.09.2024).
- 3 Агеева, Е. В. Повышение безопасности пассажирских перевозок в г. Курске / Е. В. Агеева, М. С. Королев, А. И. Пыхтин // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – № 4(63). – С. 96-103.
- 4 Котляренко, В. И. Тенденции развития автотранспортных средств в Российской Федерации / В. И. Котляренко // Труды НАМИ. – 2019. – № 4 (279). – С. 22-27.
- 5 Любимов, И. И. Анализ моделей взаимодействия субъектов пассажирских автомобильных перевозок / И. И. Любимов, Н. Н. Якунин, Н. В. Якунина // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2022. – Т. 19, № 6(88). – С. 878-889.

6 Локтионова, А. Г. Определение динамического показателя автомобиля в транспортных потоках городской транспортной системы / А. Г. Локтионова, А. Г. Шевцова // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 1-2(80). – С. 37-42.

7 Вопросы управления городскими транспортными системами / И. Е. Агуреев, В. А. Пышный, Л. Е. Кущенко [и др.] // Современные социально-экономические процессы: проблемы, закономерности, перспективы: монография. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2017. – С. 72-94.

8 Курганов, В. М. Надежность и снижение затрат на перевозки пассажиров в городах с градообразующими предприятиями / В. М. Курганов, М. В. Грязнов, К. А. Давыдов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – Т. 17, № 1(71). – С. 98-109.

9 Новиков, А. Н. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе / А. Н. Новиков, А. Г. Шевцова. – Москва: Академия, 2022. – 205 с. – ISBN 978-5-361-01115-5.

10 Куракина, Е. В. Повышение уровня безопасности дорожного движения в системе "Участник дорожного движения - Транспортное средство - Дорога - Внешняя среда" / Е. В. Куракина, А. А. Склярова // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – Т. 17, № 4(74). – С. 488-499.

11 Анализ влияния внешнеэкономических факторов на развитие транзитных перевозок на территории ЕАЭС / С. В. Дорохин, В. А. Зеликов, А. Ш. Субхонбердиев [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – Т. 82, № 1(83). – С. 419-425.

12 Шевцова, А. Г. Прогнозирование количества дорожно-транспортных происшествий с участием средств индивидуальной мобильности на примере Краснодарского края / А. Г. Шевцова, С. Е. Савотченко, А. А. Юнг // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2024. – Т. 21, № 4(98). – С. 594-604.

13 Показатели состояния безопасности дорожного движения / URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения 16.09.2024).

14 Орлова, И. В. Опыт применения пакета R при изучении темы "Предварительный анализ данных" в эконометрике / И. В. Орлова // Фундаментальные исследования. – 2019. – № 6. – С. 115-120.

15 Максимова, Т. Г. Эконометрика / Т. Г. Максимова, И. Н. Попова. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2018. – 70 с.

References

1 Transport Strategy of the Russian Federation up to 2030 with a forecast for the period up to 2035, approved by the order of the Government of the Russian Federation on November 27, 2021 № 3363-р.

2 Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Voronezh Region / URL: <https://36.rosstat.gov.ru/> (access date: 09.09.2024).

3 Ageyeva, E. V. Increasing the safety of passenger transportation in Kursk / E. V. Ageyeva, M. S. Korolev, A. I. Pykhtin // The world of transport and technological machines. - 2018. - № 4(63). - С. 96-103.

4 Kotlyarenko, V. I. Trends in the development of motor vehicles in the Russian Federation / V. I. Kotlyarenko // Proceedings of NAMI. - 2019. - № 4(279). - С. 22-27.

5 Lyubimov, I. I. Analysis of the interaction models of the subjects of passenger motor-vehicle transportation / I. I. Lyubimov, N. N. Yakunin, N. V. Yakunina // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. - 2022. - Т. 19, № 6(88). - С. 878-889.

6 Loktionova, A. G. Determination of the dynamic index of the car in the transport flows of the urban transportation system / A. G. Loktionova, A. G. Shevtsova // World of transport and technological machines. - 2023. - № 1-2(80). - С. 37-42.

7 Issues of urban transportation systems management / I. E. Agureev, V. A. Pyshny, L. E. Kushchenko [et al.] // Modern socio-economic processes: problems, patterns, prospects : a monograph. - Penza : "Science and Enlightenment" (IP Gulyaev G.Yu.), 2017. - С. 72-94.

8 Kurganov, V. M. Reliability and cost reduction for passenger transportation in cities with city-forming enterprises / V. M. Kurganov, M. V. Gryaznov, K. A. Davydov // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. - 2020. - Т. 17, № 1(71). - С. 98-109.

9 Novikov, A. N. Safe and efficient traffic flow management in the urban transportation system / A. N. Novikov, A. G. Shevtsova. - Moscow : Academia, 2022. - 205 с. - ISBN 978-5-361-01115-5.

10 Kurakina, E. V. Increasing the level of road safety in the system “Road user - Vehicle - Road - External environment” / E. V. Kurakina, A. A. Sklyarova // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. - 2020. - Т. 17, № 4(74). - С. 488-499.

11 Analysis of the influence of foreign economic factors on the development of transit transportation in the EAEU territory / S. V. Dorokhin, V. A. Zelikov, A. Sh. Subkhonberdiev [et al.] // Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies. - 2020. - Т. 82, № 1(83). - С. 419-425.

12 Shevtsova, A. G. Forecasting the number of road accidents involving means of individual mobility on the example of Krasnodar Krai / A. G. Shevtsova, S. E. Savotchenko, A. A. Yung // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. - 2024. - Т. 21, № 4(98). - С. 594-604.

13 Road safety indicators / URL: <http://stat.gibdd.ru/> (access date 09/16/2024).

14 Orlova, I. V. Experience of using the R package when studying the topic “Preliminary data analysis” in econometrics / I. V. Orlova // Fundamental Research. - 2019. - № 6. - С. 115-120.

15 Maximova, T. G. Econometrics / T. G. Maximova, I. N. Popova. - St. Petersburg : St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2018. - 70 с.

© Котов Р. А., Дорохин С. В., 2024