

# ВНТВ

Воронежский научно-технический вестник

2 (44) июнь 2023



СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ  
И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

*Храмов А.В., Горшков М.Г., Нгуен Х.Т., Киселев Е.С.*

Повышение эффективности токарной обработки жаропрочных сплавов  
введением в зону резания энергии ультразвукового поля 4

*Смоленцев Е.В., Бабенков Н.Н., Грицюк В.Г., Ковалёв С.В.*

Безабразивная чистовая обработка деталей машин комбинированными методами 11

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Болдырев А.И., Болдырев А.А., Перова А.В., Григораши В.В., Падурец А.А.*

Влияние режимов электрохимической обработки на микротвердость  
поверхностных слоев титановых сплавов 23

*Щербаков П.С., Куц В.В., Гречухин А.Н., Олещицкий А.В.*

Выявление влияния кривизны приемной поверхности на геометрические  
параметры единичного наплавленного слоя при аддитивном  
формообразовании электрической дугой в среде защитного газа 30

*Болдырев А.И., Болдырев А.А., Григораши В.В., Перова А.В., Падурец А.А.*

Экспериментальные исследования очистки сварочной проволоки  
высоковольтным электрохимическим методом 40

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

*Сафиуллин Р.Н., Шаммазов И.А., Сафиуллин Р.Р., Сорокин К.В., Полуэктов В.А.*

Алгоритм оптимизации поставок запасных частей транспортным  
средствам с учетом информационно-логистической поддержки  
процессов восполнения их ресурса 48

*Сенин И.С., Котенкова И.Н., Надирян С.Л., Коновалова Т.Н., Лавренец И.С.*

Стратегическое планирование сети магистральных  
Велодорожек в крупных городах 56

***Подопригора Н.В., Евтюков С.А.***

Перспективные модели оценки технического состояния тормозных систем высокоавтоматизированных транспортных средств 65

***Комаров С.Д., Ретюнских В.Н., Кирюшин И.Н., Аникин Н.В.***

Развитие рынка автомобилей китайского производства в России 71

***Волков В.С., Лебедев Е.Г.***

Влияние качества подготовки водительского состава на безопасность движения 81

DOI: [10.34220/2311-8873-2023-4-10](https://doi.org/10.34220/2311-8873-2023-4-10)



УДК 621.9.025

UDC 621.9.025

2.5.5 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ ВВЕДЕНИЕМ В ЗОНУ РЕЗАНИЯ ЭНЕРГИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОЛЯ**

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF TURNING HEAT-RESISTANT ALLOYS BY INTRODUCING THE ENERGY OF AN ULTRASONIC FIELD INTO THE CUTTING ZONE**

**Храмов Александр Владимирович**, президент ГК «ХАЛТЕК», г. Ульяновск, e-mail: [Aleksander.Khramov@haltec.ru](mailto:Aleksander.Khramov@haltec.ru)

**Khramov Alexander Vladimirovich**, President of HALTEK Group of Companies, Ulyanovsk, e-mail: [Aleksander.Khramov@haltec.ru](mailto:Aleksander.Khramov@haltec.ru)

**Горшков Максим Геннадьевич**, вед. инженер ГК «ХАЛТЕК», г. Ульяновск, e-mail: [maksim.gorshkov@haltec.ru](mailto:maksim.gorshkov@haltec.ru)

**Gorshkov Maxim Gennadievich**, Lead Engineer of the HALTEK Group of Companies, Ulyanovsk, e-mail: [maksim.gorshkov@haltec.ru](mailto:maksim.gorshkov@haltec.ru)

**Нгуен Хань Тоан**, Хынгиенский педагогический технический университет, ст. преподаватель, г. Ханой, e-mail: [mr.toannk@gmail.com](mailto:mr.toannk@gmail.com)

**Nguyen Hanh Toan**, Senior Lecturer, Hunghien Pedagogical Technical University, Hanoi, e-mail: [mr.toannk@gmail.com](mailto:mr.toannk@gmail.com)

✉<sup>1</sup> **Киселев Евгений Степанович**, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Ульяновского государственного технического университета, г. Ульяновск, e-mail: [kec.ulstu@mail.ru](mailto:kec.ulstu@mail.ru)

✉<sup>1</sup> **Kiselev Evgeny Stepanovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher of the Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, e-mail: [kec.ulstu@mail.ru](mailto:kec.ulstu@mail.ru)

**Аннотация.** Применение труднообрабатываемых жаропрочных сплавов находит широкое распространение в конструкциях авиационных двигателей и газоперекачивающих агрегатов. Как правило, из них изготавливают тонкостенные оболочковые конструкции, обеспечивая высокую плотность компоновки (например – лопатки, моноколесы). Особенностью изготовления подобных конструкций является малый (по сравнению с занимаемым объёмом всего изделия) объём металла, в котором распределяется возникающая при формообразовании теплота. Учитывая низкую теплопроводность таких сплавов (до 4-5 раз меньшую по сравнению со сталями) формообразование

**Annotation.** The use of difficult-to-process heat-resistant alloys is widely used in the design of aircraft engines and gas pumping units. As a rule, thin-walled shell structures are made from them, providing a high density of the layout (for example, blades, electric unicycles). The peculiarity of the manufacture of such structures is a small (compared to the occupied volume of the entire product) volume of metal, in which the heat generated during shaping is distributed. Given the low thermal conductivity of such alloys (up to 4-5 times less compared to steels), the shaping of parts from them is associated with the risk of warping in combination with low productivity of blade processing with carbide tools. More effective, but little studied is the processing with tools made of mineral ceramics with the introduction of the energy

деталей из них сопряжено с опасностью возникновения короблений в сочетании с низкой производительностью лезвийной обработки инструментами из твердого сплава. Более эффективна, но мало исследована обработка инструментами из минералокерамики с введением в зону резания энергии ультразвукового поля. Цель исследований – отработать высокопроизводительную технологию предварительной обработки заготовок из жаропрочных сплавов инструментами из минералокерамики, отличающуюся минимальной глубиной дефектов в поверхностном слое. Исследования проводились на станочном оборудовании при изготовлении нежестких деталей летательных аппаратов точением заготовок из жаропрочного сплава ХН45МВТЮБР резцами из минералокерамики с введением в зону обработки энергии УЗ-поля. Установлено, что использование УЗ-колебаний при предварительной обработке минералокерамическими инструментами без СОЖ позволяет уменьшить глубину дефектного слоя до полутора раз и увеличить производительность до 30 раз. Учитывая уменьшение глубины дефектного слоя, появляется возможность снижения припусков на окончательную обработку, а следовательно, уменьшения длительности технологического процесса и себестоимости изготовления деталей.

**Ключевые слова:** ЖАРОПРОЧНЫЙ СПЛАВ, МИНЕРАЛОКЕРАМИКА, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ, УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ПОЛЕ, ТОКАРНАЯ ОБРАБОТКА.

of the ultrasonic field into the cutting zone. The purpose of the research is to develop a high-performance technology for pre-processing workpieces made of heat-resistant alloys with tools made of mineral ceramics, characterized by a minimum depth of defects in the surface layer.

**Methods.** The research was carried out on machine tools in the manufacture of non-rigid parts of aircraft by turning blanks from the heat-resistant alloy HN45MVTYUBR with cutters made of mineral ceramics with the introduction of the energy of the ultrasonic field into the processing zone.

It has been established that the use of ultrasonic vibrations during pretreatment with mineral-ceramic tools without coolant can reduce the depth of the defective layer by up to one and a half times and increase productivity by up to 30 times.

Taking into account the reduction in the depth of the defective layer, it becomes possible to reduce the allowances for final processing, and consequently, to reduce the duration of the technological process and the cost of manufacturing parts.

**Keywords:** HEAT-RESISTANT ALLOY, MINERAL CERAMICS, PERFORMANCE, SURFACE QUALITY, ULTRASONIC FIELD, TURNING.

<sup>1</sup> Автор для ведения переписки

## 1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Постоянное развитие техники на современном этапе требует использования деталей, которые имеют тонкие стенки (как с целью экономии материала и облегчения конструкции в целом), отличающихся высокой прочностью и теплостойкостью. Сейчас их количество существенно увеличивается в общей номенклатуре деталей, изготавливаемых механической обработкой со снятием припусков. Тонкостенные оболочковые конструкции, обеспечивая высокую плотность компоновки, находят широкое применение в самых разных отраслях промышленности и, что особенно важно, в таких областях, как авиационное моторостроение, самолето- и ракетостроение, криогенная техника, космических и военно-промышленных разработках.

Особенностью современного механообрабатывающего производства является необходимость изготовления все увеличивающегося количества сложных и нежестких, тонкостенных деталей в различных машинах и механизмах, прежде всего в летательных аппаратах (ЛА). Последнее объясняется, с одной стороны, увеличением скоростей их исполнительных движений (следовательно, стремлением уменьшить инерционные нагрузки), с другой - снятием почти полных прежних ограничений у конструкторов в создании сложных деталей ввиду высоких технологических возможностей современных 3-х и 5-ти осевых станков и обрабатывающих центров с ЧПУ. К этому можно добавить и еще одну: уменьшение конструкторской жесткости, как правило, сопровождается одновременным использованием в качестве конструкционных материалов высокопрочных, следовательно, как правило труднообрабатываемых сталей и сплавов для сохранения необходимой прочности при уменьшении сечений изготавливаемых деталей. В качестве материалов для таких деталей чаще других используются коррозионностойкие и жаропрочные стали, а также жаропрочные сплавы на основе титана и никеля. Общеизвестно, что доля титановых и жаропрочных сплавов в конструкции авиационных двигателей четвертого поколения на 2004 год составляла порядка 89 % [1, 2], в двигателях пятого поколения этот процент еще выше. Проблема обеспечения заданных эксплуатационных свойств при изготовлении нежестких деталей из труднообрабатываемых материалов, в которых возникающие из-за теплосилового напряжения и структурно-фазовых превращений остаточные напряжения любого знака способны вызвать значительные изменения в форме и пространственной ориентации, стоит существенно острее, чем для других конструкционных материалов. Это объясняется тем, что их тепло- и температуропроводность до 4-5 раз меньше, чем у конструкционных углеродистых сталей и вся теплота, возникающая в зоне резания, локализуется в поверхностном слое (ПС) обрабатываемой заготовки. На практике это выливается в необходимость существенного уменьшения элементов режима, а в некоторых случаях, даже в подборке опытным путем последовательности изготовления. Механическую обработку заготовок деталей, обладающих сложной пространственной формой, чаще всего ведут на дорогостоящих обрабатывающих центрах, для которых подобные потери производительности недопустимы. Очевидно, что высокопроизводительный съем припусков с заготовок из любых конструкционных материалов сопровождается высокой теплосилового напряженностью процесса обработки. Это приводит к возникновению в ПС заготовок из труднообрабатываемых материалов значительных по величине технологических остаточных напряжений (ТОН), негативное влияние которых на эксплуатационные характеристики изготавливаемых деталей общеизвестны. Традиционные технологии обработки заготовок из жаропрочных сплавов, не позволяют достичь высоких значений элементов режима резания (скорость резания, подача). Это обусловлено их физико-механическими свойствами, такими как способность материала сохранять исходную прочность и твердость при высоких температурах, возникающих в зоне резания, малая теплопроводность, способствующая недостаточному отводу тепла из контактной зоны инструмента и заготовки, а также наличие в их составе интерметаллидных или карбидных включений, приводящих к абразивному износу режущей кромки инструмента.

## 2 Материалы и методы

Наиболее эффективную обработку заготовок из жаропрочных сплавов на основе никеля можно вести инструментом, изготовленным из такого материала, для которого характерны повышенные режущие свойства, такие как высокие значения красностойкости, стабильность режущих свойств в широком диапазоне температур и сопротивляемость абразивному износу. Применяемые в настоящее время в качестве инструментальных материалов твердые сплавы не обладают в достаточной мере такими необходимыми характеристиками.

Низкая обрабатываемость жаропрочных сплавов определяется их физико-механическими свойствами. В этих условиях необходимо раскрыть причины, влияющие на их обрабатываемость, и найти способы и средства увеличения производительности их обработки на металлорежущих станках.

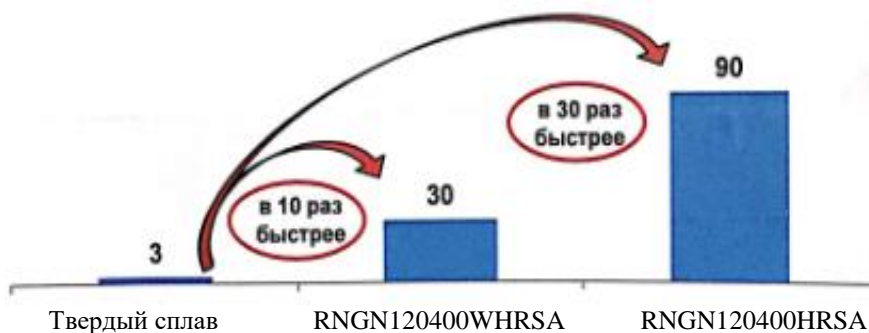
Основная структура большинства жаропрочных сплавов представляет собой обычно твердый раствор аустенитного класса с гранцентрированной кубической решеткой. При этом большая часть деформируемых жаропрочных сплавов принадлежит к типу дисперсионно твердеющих, т.е. в этих сплавах происходит выделение из твердого раствора структурной составляющей – второй фазы, отличной от его основы и рассеянной по всему объему сплава в тонкодисперсной форме.

Высокая дисперсность структуры препятствует возникновению и развитию процессов скольжения, при этом сопротивление ползучести сплава повышается.

Для жаропрочных сплавов на никелевой основе характерна значительная потеря прочности и облегчение процесса резания при температурах выше 800 °С. [2, 3]. Ранее выполненными в ГК "ХАЛТЕК" [3] установлено, что эффективность обработки заготовок из жаропрочных сплавов на никелевой основе может быть увеличена при замене обычных режущих инструментов керамическими инструментами SSY (повышение производительности в 30 и более раз по сравнению с использованием твердосплавного инструмента, рис.) с одновременным увеличением скорости резания до 600 и более м/мин.



а) Керамический инструмент в авиации



б) Производительность  $Q_{min}$ (см³/мин)

Пластина твердосплавная	Пластина керамическая RNGN120400WHRSA	Пластина керамическая RNGN120400HRSA
СОЖ	СОЖ	Обдув воздухом
$A_p = 1,5$ мм	$A_p = 1,5$ мм	$A_p = 1,5$ мм
$V = 20$ м/мин	$V = 200$ м/мин	$V = 600$ м/мин
( $n = 32$ об/мин)	( $n = 318$ об/мин)	( $n = 955$ об/мин)
$F = 3$ мм/мин	$F = 32$ мм/мин	$F = 96$ мм/мин
( $f = 0,1$ об/мин)	( $f = 0,1$ об/мин)	( $f = 0,1$ об/мин)

в) технологические условия обработки металлов резанием с использованием резцов из твердосплавных и керамических материалов.

Рисунок – Результаты опытно-промышленных испытаний новых видов минералокерамики на производственном участке ГК «ХАЛТЕК»

Последнее объясняется высокими значениями контактной температуры (800 – 850 °С), что приводит к реализации процесса формообразования новых поверхностей в условиях

термопластичности. Такая обработка сопровождается существенным уменьшением сил резания, что и объясняет причины резкого повышения производительности съема припуска [4-6]. Очевидно, что этот метод может быть использован только при предварительной (черновой) обработке, так как высокие контактные температуры в зоне резания неизбежно вызовут возникновение дефектного слоя. Дальнейшими исследованиями сотрудников ГК "ХАЛТЕК" и промышленной апробацией на ряде авиадвигательных предприятиях установлена высокая эффективность минералокерамических инструментов при черновой фрезерной и токарной обработке заготовок из жаропрочных сплавов без смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). Однако, испытаниями ряда моторостроительных предприятий установлена глубина дефектного слоя в (0,2-0,3) мм. Это недопустимо для окончательно обработанных деталей, увеличивает продолжительность полустойки и окончательной обработки и неприемлемо при изготовлении тонкостенных нежестких деталей. Интенсификация процессов обработки резанием, уменьшение глубины распространения ТОН и уменьшение вероятности возникновения других дефектов в ПС обработанных деталей могут быть осуществлены путем внешних энергетических воздействий на контактирующие объекты [1, 7]. Одновременно это облегчит процесс формообразования новых поверхностей за счет снижения затрат на движение дислокаций, обеспечит уменьшение силы резания, но и снизит контактные температуры, что может уменьшить глубину дефектного слоя. Однако последнее, наоборот, может затруднить процессы формообразования. Это, неизбежно приведет к снижению производительности съема припусков, но может уменьшить глубину дефектного слоя изготавливаемых деталей [8-10]. Поэтому, поиск оптимальных условий обработки заготовок из жаропрочных сплавов является весьма актуальной проблемой для современного авиадвигательного и ракетостроения.

Из большого числа видов, форм и схем энергетических воздействий на процесс обработки резанием [1, 7] наиболее простым и экономичным является введение в зону контакта энергии ультразвукового (УЗ) поля. Учитывая, что введение УЗ-колебаний способствует снижению фрикционных процессов, следовательно, и контактных температур, целесообразность такого воздействия при обработке заготовок из жаропрочных сплавов керамическими инструментами требует экспериментального подтверждения.

### 3 Результаты исследований

Результатом многочисленных исследований, выполненных в различных странах, явилась возможность практической реализации размерной механической обработки с УЗК путем использования специальных приспособлений и установок для наложения энергии ультразвукового поля на заготовку (инструмент, СОЖ, детали станка и технологической оснастки и др.) [1,2,7]. В настоящее время компанией DMG MORI разработана и серийно выпускается линейка из 18 моделей станков серии ULTRASONIC, в которой в конструкцию шпиндельного узла встроено устройство наложения УЗК на режущий инструмент. Подобными являются и станки AXILE Machining. Одновременно, серийно выпускаются ультразвуковые оправки (компании Altrasonic, CRENO Industry, Pulchertool), применение которых допустимо на обрабатываемых центрах с ЧПУ оснащенных шпинделями с конусом ISO40 (SK40, BT40) [1]. В этих условиях чрезвычайно важно выявить возможность снижения контактных температур без уменьшения интенсивности съема припуска за счет введения в зону контакта режущего инструмента с заготовкой энергии ультразвукового поля и предложить новые эффективные средства снижения себестоимости изготовления сложных нежестких деталей из жаропрочных хромоникелевых сплавов.

В ходе исследований получены предварительные результаты по оценке эффективности обработки точением заготовок из жаропрочного сплава ХН45МВТЮБР (аналог сплава Inconel 718) всухую (обдув воздухом) резцами из минералокерамики RGN120400HRSA серии SSY (Ю. Корея) с введением в зону обработки энергии УЗ-поля. Эксперименты проводили на токарно-винторезном станке Quantum Opti D420x 1000 DPA. В процессе обработки



измеряли составляющие силы резания  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$  и крутящий момент  $M$  кр. с помощью динамометра УДМ-600, оснащенного тензорезисторами Kyowa kfg-5-120-c1-11. Кроме того, с помощью тепловизора-пирометра TemPro -1200/1600/2200 контролировали температуру на передней поверхности минералокерамической пластины в максимальной близости от зоны контакта с обрабатываемой заготовкой. В первой серии осуществляли обработку заготовок без введения в зону формообразования энергии ультразвуковых колебаний, во второй, на режущий инструмент накладывали УЗК от ультразвукового генератора УЗГ 641 А, частотой  $f = 18,6$  кГц и амплитудой  $A = 10$  мкм. В обеих сериях использовали элементы режима резания: глубина резания  $t = 1,5$  мм, подача  $S = 0,1$  мм/об, скорость резания  $V = 600$  м/мин

Введение в зону формообразования энергии УЗ-колебаний, по мнению авторов, может также изменить характер движения дислокаций в зоне формообразования и уменьшить величину дефектного слоя. Для проверки этого предположения до и после обработки образцы для исследований подвергались оценке неразрушающим методом фазовых превращений в поверхностном слое металлов и сплавов на рентгеновском измерительном комплексе "РИКОР-7" и технологических остаточных напряжений I рода на приборе СИТОН "АРМ".

#### 4 Обсуждение и заключение

Как показывает анализ результатов исследований, сделанные предположения полностью подтвердились. Введение в зону точения энергии УЗ-колебаний уменьшает контактную температуру на передней поверхности резца на (12-17) %, однако снижения производительности обработки (оценивали по составляющим силы резания) не наблюдалось. Контроль параметров качества показал, что глубина дефектного слоя (оценивали по величине и глубине распространения технологических остаточных напряжений и фазовым изменениям) уменьшилась в 1,45 раза.

Таким образом, выполненные исследования доказали целесообразность ввода в зону точения заготовок из жаропрочных сплавов энергии УЗ-поля.

#### Список литературы

- 1 Киселев, Е. С. Современные ультразвуковые размерные технологии механической обработки заготовок из труднообрабатываемых и композиционных материалов / Е. С. Киселев // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2020. – № 9 (111). – С. 33-39.
- 2 Киселёв, Е. С. Управление формированием остаточных напряжений при изготовлении ответственных деталей / Е. С. Киселёв, О. В. Благовский. С.- Петербург: изд. «Лань». – 2020. – 160 с.
- 3 Храмов, А. В. Фрезерная обработка заготовок из жаропрочных сплавов на никелевой основе монолитными фрезами / А.В. Храмов, Е. Н. Лексин, М. Г. Горшков, Е.С. Киселев. // Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации. – 2018. – Т.1. – С. 326-329.
- 4 Cheng, Yu Mechanical properties and toughening mechanisms of graphene platelets reinforced  $Al_2O_3/TiC$  composite ceramic tool materials by microwave sintering / Yu Cheng, Yong Zhang, Zengbin Yin [et al.] // Materials Science & Engineering A. – 2016. – V. 680. – P. 190-196.
- 5 Vereschaka, A.A. Nano-scale multi-layered coatings for improved efficiency of ceramic cutting tools /A.A. Vereschaka, Sergey N. Grigoriev, Marina A. Volosova, Andre Batako, Anatoly S. Vereschaka, Nikolay N. Sitnikov, Anton E. Seleznev // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2016. – P. 1-17
- 6 Solis, N.W. Black Zirconia-Graphene Nanocomposite Produced by Spark Plasma Sintering / N.W. Solis, P. Peretyagin, A. Seleznev, R. Torresillas, J.S. Moya // Mechanics, resource and diagnostics of materials and structures (MRDMS-2016): Proceedings of the 10th International Conference on Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures. AIP Conf. Proc. 1785, 2016.

- 7 Garcia Navas, V. Surface integrity of rotary ultrasonic machined  $ZrO_2 - TiN$  and  $Al_2O_3 - TiC - SiC_w$  ceramics / V. Garcia Navas, A. Sanda, C. Sanz [et al.] // Journal of the European Ceramic Society. – 2015. – V. 35 (14). – P. 3927-3941
- 8 Ceramic insert improves cast iron milling // Metal Powder Report. – 2014. – V. 69(2). – P. 46
- 9 Zou, Bin Effects of superfine refractory carbide additives on microstructure and mechanical properties of  $TiB_3 - TiC + Al_2O_3$  composite ceramic cutting tool materials / Bin Zou, Wenbin Ji, Chuanzhen Huang et al. // Journal of Alloys and Compounds. – 2014. – V. 585. – P. 192-202
- 10 Григорьев, С.Н. Диагностика и контроль керамического инструмента при высокоскоростном фрезеровании закаленных сталей на станках с ЧПУ / С.Н. Григорьев, М.А. Волосова // Измерительная техника. – 2015. – №7. – С. 7-10.

### References

- 1 Kiselev, E. S. Modern ultrasonic dimensional technologies of mechanical processing of workpieces from hard-to-process and composite materials / E. S. Kiselev // High-tech technologies in mechanical engineering. – 2020. – № 9 (111). – Pp. 33-39.
- 2 Kiselev, E. S. Control of the formation of residual stresses in the manufacture of responsible parts / E. S. Kiselev, O. V. Blagovsky. St. Petersburg: ed. "Doe". – 2020. – 160 p.
- 3 Khramov, A.V. Milling of blanks from heat-resistant nickel-based alloys with monolithic cutters / A.V. Khramov, E. N. Leksin, M. G. Gorshkov, E.S. Kiselev. // Aerospace engineering, high technologies and innovations. – 2018. – Vol.1. – pp. 326-329.
- 4 Cheng, Yu Mechanical properties and hardening mechanisms of graphene platelets reinforced  $Al_2O_3/TiC$  composite ceramic tool materials by microwave sintering / Yu Cheng, Yong Zhang, Zengbin Yin [et al.] // Materials Science & Engineering A. – 2016. – V. 680. – P. 190-196.
- 5 Vereschaka, A.A. Nano-scale multi-layered coatings for improved efficiency of ceramic cutting tools / A.A. Vereschaka, Sergey N. Grigoriev, Marina A. Volosova, Andre Batako, Anatoly S. Vereschaka, Nikolay N. Sitnikov, Anton E. Seleznev // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2016. – P. 1-17
- 6 Solis, N.W. Black Zirconia-Graphene Nanocomposite Produced by Spark Plasma Sintering / N.W. Solis, P. Peretyagin, A. Seleznev, R. Torresillas, J.S. Moya // Mechanics, resource and diagnostics of materials and structures (MRDMS-2016): Proceedings of the 10th International Conference on Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures. AIP Conf. Proc. 1785, 2016.
- 7 Garcia Navas, V. Surface integrity of rotary ultrasonic machined  $ZrO_2 - TiN$  and  $Al_2O_3 - TiC - SiC_w$  ceramics / V. Garcia Navas, A. Sanda, C. Sanz [et al.] // Journal of the European Ceramic Society. – 2015. – V. 35 (14). – P. 3927-3941
- 8 Ceramic insert improves cast iron milling // Metal Powder Report. – 2014. – V. 69(2). – P. 46
- 9 Zou, Bin Effects of superfine refractory carbide additives on microstructure and mechanical properties of  $TiB_3 - TiC + Al_2O_3$  composite ceramic cutting tool materials / Bin Zou, Wenbin Ji, Chuanzhen Huang et al. // Journal of Alloys and Compounds. – 2014. – V. 585. – P. 192-202
- 10 Grigoriev, S.N. Diagnostics and control of ceramic tools during high-speed milling of hardened steels on CNC machines / S.N. Grigoriev, M.A. Volosova // Measuring equipment. – 2015. – No. 7. – pp. 7-10.

DOI: [10.34220/2311-8873-2023-7-9](https://doi.org/10.34220/2311-8873-2023-7-9)



УДК 621.9.047; 621.92

UDC 621.9.047; 621.92

2.5.5 – технология и оборудование  
механической и физико-технической  
обработки

## **БЕЗАБРАЗИВНАЯ ЧИСТОВАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ МАШИН КОМБИНИРОВАННЫМИ МЕТОДАМИ**

## **NON-ABRASIVE FINISHING OF MACHINE PARTS BY COMBINED METHODS**

✉<sup>1</sup> **Смоленцев Евгений Владиславович**, профессор кафедры технологии машиностроения, д.т.н., профессор, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, e-mail: [smolentsev.rabota@gmail.com](mailto:smolentsev.rabota@gmail.com)

✉<sup>1</sup> **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](mailto:smolentsev.rabota@gmail.com)

**Бабенков Никита Николаевич**, магистр кафедры технологии машиностроения, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, e-mail: [babenkoff.nikita@yandex.ru](mailto:babenkoff.nikita@yandex.ru)

**Babenkov Nikita Nikolaevich**, Master of the Department of Mechanical Engineering Technology, Voronezh State Technical University, Voronezh, e-mail: [babenkoff.nikita@yandex.ru](mailto:babenkoff.nikita@yandex.ru)

**Грицюк Василий Григорьевич**, заведующий кафедрой технологии машиностроения, к.т.н., Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, e-mail: [vgtukaftm@ya.ru](mailto:vgtukaftm@ya.ru)

**Gritsyuk Vasily Grigorievich**, Head of the Department of Mechanical Engineering Technology, Candidate of Technical Sciences, Voronezh State Technical University, Voronezh, e-mail: [vgtukaftm@ya.ru](mailto:vgtukaftm@ya.ru)

**Ковалев Сергей Викторович**, директор АО "КБХА", к.т.н., г. Воронеж, e-mail: [vgtukaftm@ya.ru](mailto:vgtukaftm@ya.ru)

**Kovalev Sergey Viktorovich**, Director of KBHA JSC, Candidate of Technical Sciences, Voronezh, e-mail: [vgtukaftm@ya.ru](mailto:vgtukaftm@ya.ru)

**Аннотация.** На данный момент традиционные методы обработки глубоко изучены и в полной мере внедрены во все отрасли машиностроения. Многие специалисты считают, что в дальнейшем не стоит ожидать их масштабного развития и новых открытий в этой сфере, а если и появятся какие-либо, то они будут недостаточно конкурентоспособны. Новым глобальным методом развития технологических процессов считается изучение и повсеместное внедрение в создание новых технологических процессов с внедрением комбинированных методов обработки. В них пытаются сочетать механические, химические, тепловые и тому подобные явления. Их комбинированное использование может дать новый рывок развития проектирования последовательности металлообработки.

**Annotation.** At the moment, traditional processing methods are deeply studied and fully implemented in all branches of mechanical engineering. Many experts believe that in the future we should not expect their large-scale development and new discoveries in this area, and if any appear, they will not be competitive enough. A new global method for the development of technological processes is considered to be the study and widespread introduction into the creation of new technological processes with the introduction of combined processing methods. They try to combine mechanical, chemical, thermal and similar phenomena. Their combined use can give a new breakthrough in the development of metalworking sequence design.

**Ключевые слова:** БЕЗАБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА, ЭВОЛЬВЕНТА, ЗУБЧАТОЕ КОЛЕСО, ЗУБЧАТАЯ ПЕРЕДАЧА. **Keywords:** ABRASIVE-FREE TREATMENT, INVOLUTE, GEAR WHEEL, GEAR TRANSMISSION.

<sup>1</sup> Автор для ведения переписки

## 1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

В настоящее время лишь малая часть комбинированных методов с наложением электромагнитных полей внедрена в машиностроение [1, 2]. Помимо прочего, данные методы позволяют создавать намного более сложные и прогрессивные конструкции, которые до этого не позволяло создать ограничение в способах обработки. Поэтому проектирование и внедрение этих методов – это актуальная проблема для современного машиностроения. А решение этой проблемы станет базой для увеличения технологического потенциала и перехода на новый уровень развития производства и выпуска современной техники [3, 4, 5].

Исследования, проведенные как на территории нашей страны, так и за рубежом в направлении обработки с помощью наложения электрического поля создали основу для создания новых, более эффективных и технологичных методов обработки материалов. Это способствует созданию более современной и конкурентоспособной техники. Благодаря исследованиям становится возможным получение сложнопрофильных деталей с анодным растворением материала ниже границы потерь напряжения [6, 7].

Проблема регулирования межэлектродного зазора более неактуальна благодаря комбинированию процессов с наложением низковольтного напряжения и как следствие появилась возможность создания новых, более эффективных, средств технологического оснащения. К тому же это позволило устранить погрешности, связанные с нестабильностью протекания процессов на финальных этапах обработки и достигнуть шестого качества точности. Направлением данного исследования является проектирование технологии доводки поверхностей зубчатых колес с помощью комбинированных методов обработки и, соответственно, разработка оснастки для такой операции. Для выполнения этого следует обозначить решаемые задачи.

Во-первых, следует обосновать рациональность применения данного метода. Во-вторых - провести разработку и расчет режимов данного метода. В-третьих, разработать механизмы управления данным процессом, так как предполагается использовать метод дискретного съема припуска на обработку.

Работа описывает в себе современное обоснование запатентованного способа электрохимической размерной обработки (ЭХРО), который несет в себе описание совмещения при всех вариантах восстановления профиля контактных поверхностей зубчатой передачи технологических и конструкторских баз. Он использует механизм работы самого процесса. Это позволяет получить ранее недостижимую точность при ремонте зубьев.

Что касается практической применимости, она заключается в значительном улучшении технологичности ремонта различных зубчатых передач и в применении нового способа управления процессом. В совокупности это даст возможность уменьшить припуск на данную операцию и осуществлять процесс в рабочем положении зубчатой передачи.

## 2 Материалы и методы

На данный момент традиционные методы обработки глубоко изучены и в полной мере внедрены во все отрасли машиностроения. Многие специалисты считают, что в дальнейшем не стоит ожидать их масштабного развития и новых открытий в этой сфере, а если и появятся какие-либо, то они будут недостаточно конкурентоспособны. Новым глобальным методом развития технологических процессов считается изучение и повсеместное внедрение в

создание новых технологических процессов с внедрением комбинированных методов обработки [8]. В них пытаются сочетать механические, химические, тепловые и тому подобные явления. Их комбинированное использование может дать новый рывок развития проектирования последовательности металлообработки. В данный момент лишь малая часть этих методов внедрена в машиностроение. Кроме того, данные методы позволяют создавать намного более сложные и прогрессивные конструкции, которые до этого не позволяло создать ограничение в способах обработки. Поэтому проектирование и внедрение этих методов – это актуальная проблема для современного машиностроения. А решение этой проблемы станет базой для увеличения технологического потенциала и перехода на новый уровень развития производства и выпуска современной техники.

Исследования, проведенные как на территории нашей страны, так и за рубежом в направлении обработки с помощью наложения электрического поля создали основу для создания новых, более эффективных и технологичных методов обработки материалов. Это способствует созданию более современной и конкурентноспособной техники. Благодаря исследованиям [1-3] становится возможным получение сложнопрофильных деталей с анодным растворением материала ниже границы потерь напряжения.

Проблема регулирования межэлектродного зазора более неактуальна благодаря комбинированию процессов с наложением низковольтного напряжения и как следствие появилась возможность создания новых, более эффективных, средств технологического оснащения. К тому же это позволило устранить погрешности, связанные с нестабильностью протекания процессов на финальных этапах обработки и достигнуть шестого качества точности [9-11].

### 3 Результаты исследований

В модели предполагается, что за счет калибровки толщины и напряжения оксидной пленки есть возможность управлять скоростью съема материала и изменять сопротивление межэлектродного зазора. При этом можно не бояться возникновения коротких замыканий.

Процесс комбинированной доводки может быть использован как для новых зубчатых передач, так и для изношенных.

#### 1. Новые зубчатые передачи.

В данной ситуации можно рассмотреть несколько случаев. В частности, используется несколько комбинаций воздействия электрического тока на обрабатываемую поверхность.

Если заготовки зубчатых колес были обработаны модульными фрезами, то припуск на обработку будет незначительным, а основополагающим фактором будет требование соблюдения нормы плавности соприкосновения поверхностей зубьев.

Припуск на ЭХО –  $Z_{\text{ЭХО}}$  учитывается в случае близости к допуску  $[\delta]$  на профиль колеса. При условии соблюдения неравенства (1) эту составляющую допускается не учитывать при расчете.

$$[\delta] \geq 2Z_{\text{ЭХО}} \quad (1)$$

Если же условие неравенства не выполняется и допуск оказывается меньше, то припуск на ЭХО принимается как  $Z_{\text{ЭХО}} \geq 2R_{z0}$ , где параметр  $R_{z0}$  является высотой неровностей, полученной на предшествующей обработке.

Частный случай получения заготовки при помощи экструзирования, прессования и металлоштамповки. В таком случае после проведения черновой обработки требуется получить чистую поверхность профиля зубьев, обеспечивающую плавность их контакта без возможных ограничений по кинематической точности. После проведения доводки требуется регулирование бокового зазора, которое можно выполнить с помощью регулирования межцен-

трового расстояния. Чистовая же обработка ведется на переменных режимах электрохимическим методом. После чего проводятся испытания на плавность контакта зубчатых колес.

## 2. Изношенные зубчатые колеса.

При возникновении кинематической погрешности, выходящей за пределы допуска  $[\delta]$  потребуется снятие определенного количества припуска. Это может произойти в нескольких случаях, которые можно объединить в группы.

а) Колеса не поддаются доводке. Это можно с полной уверенностью утверждать, когда одно или сразу оба зубчатых колеса находятся на нижней границе поля допуска или же вообще выходят из него в отрицательную сторону.

б) Колеса поддаются доводочным операциям если:

- некондицией является одно колесо и на нем остается припуск на обработку.
- некондицией являются оба колеса, но припуск на обработку у них меняется.

Так же следует заметить, что если в паре колес обработка производится только с одним, то она будет происходить без переключения полярности.

Основным требованием в данном процессе является соблюдение норм плавности и контакта зубьев, что обеспечивается при выполнении условий, таких как обработка заготовок модульными фрезами, а также соблюдение незначительного припуска на чистовой обработке.

Комбинированная доводка зубчатых колес может иметь свои вариации, из чего следует что для описание данного процесса стоит разграничить две функциональные категории [12-14]:

1. В случае обработки только одного колеса, инструментом для которого станет либо неизношенное, второе колесо, либо эталонное колесо. В течении всего процесса доводки полярность на электродах не будет менять имеющиеся показатели.

2. В случае обработки обоих колес, каждое из них попеременно являются инструментом, а затем заготовкой. Рассматривая данную категорию, следует заметить, что полярность в течении обработки будет периодически меняться. Причем диаметр, степень износа и предельный припуск на обработку для каждого из колес будет иметь индивидуальный период длительности.

Ведомое колесо в установке регулируется тормозом, контактные усилия от которого, в свою очередь, управляют интенсивностью съема. Её регулировка ведется за счет постоянства поступления среднего тока, подаваемого на электроды.

Так же для этой операции требуется рассмотреть возможный случай, при котором для проведения процесса доводки необходимо снижать степень шероховатости сопрягаемых поверхностей. Для этого процесса рассмотрим следующие этапы.

На рисунке 1 можно видеть начало доводки. На нем происходит взаимное движение обрабатываемых поверхностей.

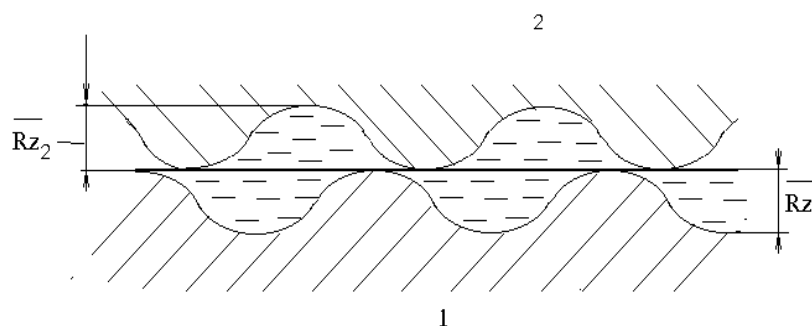


Рисунок 1 – Начало доводочной операции

Ток на данном этапе еще не подаётся, исходная высота неровностей  $Rz_1$  и  $Rz_2$ . Зазор между поверхностями будет равен толщине оксидной пленки.

Второй этап (рис. 2) характеризуется подачей тока на электроды, при сохраняющемся относительном движении.

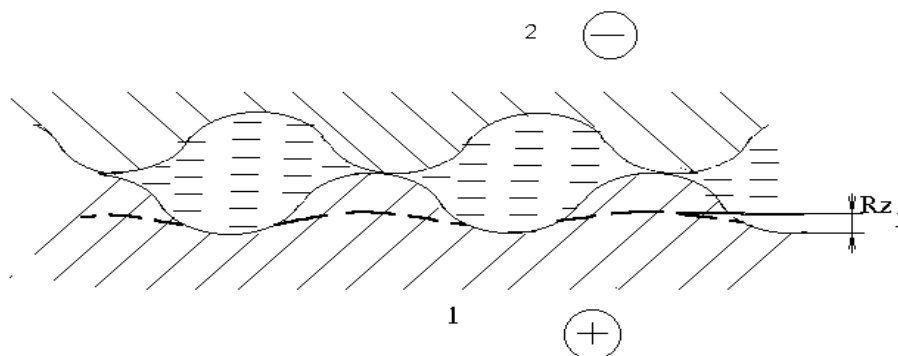


Рисунок 2 – Протекание процесса доводочной операции

Как раз на этом этапе начинается процесс анодного растворения. Сущность процесса заключается в том, что при взаимном вращении зубчатых колес происходит механическая депассивация оксидной пленки. В данном конкретном случае, она рвется в местах контакта поверхностей. Стоит отметить, что процесс анодного растворения идет гораздо активнее в тех местах, где выступы микронеровностей находятся ближе всего друг к другу. На расстоянии равном толщине оксидной пленки. Так же на процесс можно повлиять механическим методом. При ускорении или затормаживании будет происходить изменение давления на зуб, что так же приведет к изменению межэлектродного зазора.

На наибольшие же выступы будет оказываться самое большое давление. Таким образом и наибольший съем материала будет происходить именно в этих местах, которые, проще говоря, можно определить, как места с наибольшей шероховатостью.

Высота неровностей поверхности 1, которая подключена к положительно заряженному плюсу, уменьшается за счет анодного растворения до величины  $Rz_1$ . Перекачивание электролита необходимо для очистки от микростружки из межэлектродного промежутка. Но этот процесс происходит из-за движения зубчатых колес, следовательно, скорость промывки будет равна скорости их движения [15].

Во время протекания третьего этапа, показанном на рисунке 3 полярности поверхностей меняются, следовательно, процесс обработки переходит на противоположную поверхность.

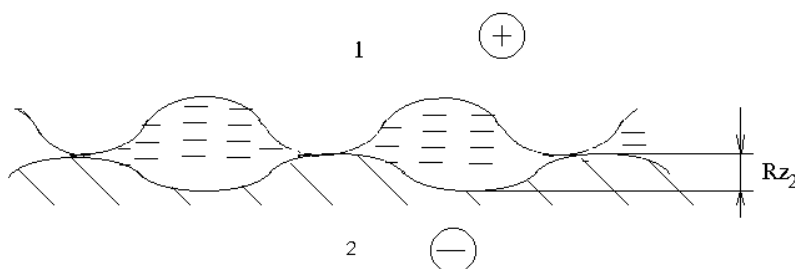


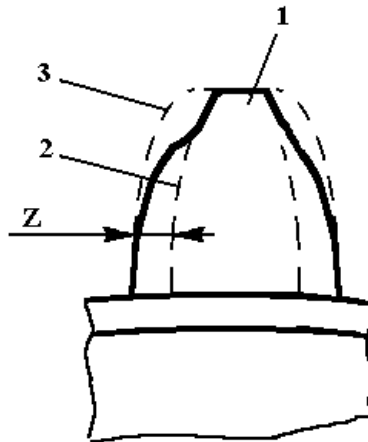
Рисунок 3 – Окончание доводочной операции

Отметим, что этот этап необходим только тогда, когда требуется обработка пары зубчатых колес, которые находятся в зацеплении. Этот этап, по своей сути, проходит как первый, а после него шероховатость второго колеса будет равна  $Rz_2$ .

Таким образом данная операция повторяется поочередно, пока не будет достигнут нужный результат.

### 3. Восстановление изношенного зуба.

Данная операция отличается от прежних. Во время работы наибольший износ будут иметь контактные поверхности зубьев. Точнее в начальной и конечной точках.



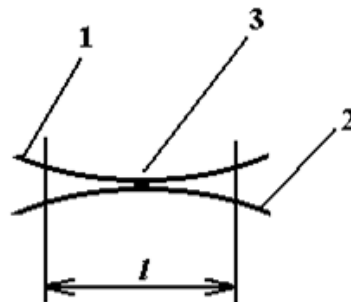
1 – зуб; 2 – минимально допустимые границы профиля; 3 – первоначальный профиль

Рисунок 4 – Профиль выработанного зуба

Процесс будет заключаться в удалении припуска  $z$ . При этом мы имеем возможность восстановить профиль эвольвенты без потери точности зубчатого колеса. Если величина припуска не позволит нам остаться в пределах допуска, то следует изменить точность зубчатой передачи.

Последовательность обработки будет аналогична обработке для снижения шероховатости. Наиболее интенсивно съём металла будет проходить там, где давление и межэлектродное расстояние будут наибольшими. Иначе говоря, съём металла будет происходить там, где износ меньше [16].

Когда требует обработка одного колеса, по аналогии с основным первым этапом, смена полярности не потребуется. В обратном случае она потребуется. В каждый момент времени обработки снятие металла будет не по всей площади, а только ее участок (рис. 5).



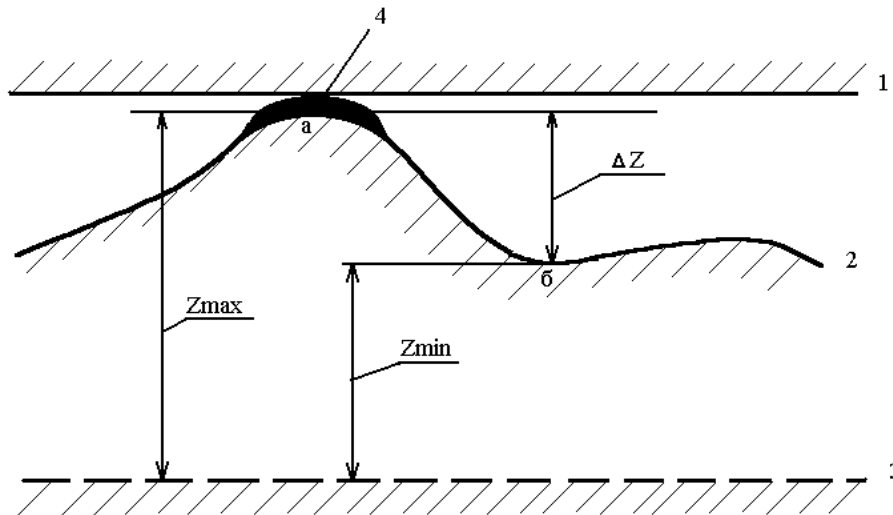
1;2 – зубья; 3 – точка контакта;  $l$  – длина зоны контакта.

Рисунок 5 – Локальная доводка профиля



С наибольшей интенсивностью процесс будет протекать в точке 3. При этом по мере увеличения межэлектродного зазора потеря напряжения будет расти, следовательно, съём металла уменьшаться. Отношение общего времени обработки к длине данного участка будет равно отношению длины пути, которое будет проходить зуб при вращении колес к длине контакта [17].

Для управления процессом доводки зубчатых колес была предложена следующая схема (рис. 6).



1 – исходный профиль; 2 – контур сечения обрабатываемого зуба; 3 – минимальное предельное значение толщины изношенного зуба; 4 – слой, формируемый окисной пленкой;  $Z_{max}$  – максимальное значение толщины слоя, которое можно удалить во время доводки;  $Z_{min}$  – минимальный припуск на обработку обрабатываемой поверхности;  $\Delta Z$  – неравномерность припуска

Рисунок 6 – Расчетная схема процесса при доводке профиля зуба

Граничными условиями для построения модели можно считать следующие [18, 19]: обрабатываемый профиль не имеет резких перепадов размеров; минимальный припуск не пересекает границы 3 на рисунке 6, анод и катод не имеют непосредственного контакта, между ними имеется слой, формируемый оксидной пленкой («а» на рисунке 6),

Тогда

$$\delta_n \geq \Delta z \geq 0, \quad (2)$$

где  $\delta_n$  – допуск на толщину зуба согласно заданному значению на чертеже.

Для выполнения условия (2) необходимо рассчитать прогнозируемую величину  $\Delta z$ .

Если предположить, что в точке «а» имеется вязкий слой, образующийся за счет сжатия рабочей среды в процессе взаимодействия инструмента и заготовки, то вязкость можно рассчитать по известной формуле [19]:

$$\delta = 4,64 \sqrt{\frac{vL}{W_0}} \sqrt[3]{\frac{v}{D_k}}, \quad (3)$$

где  $\nu$ - кинематическая вязкость среды;  $L$  – длина зоны обработки;  $W_0$ - средняя скорость электролита;  $D_k$  – коэффициент диффузии.

Для дисперсных систем, к которым по [19] могут относиться вещества, образующиеся в ходе ЭХРО, коэффициент диффузии рассчитывается по зависимости:

$$D_k = \frac{RT}{N\sigma\pi r\mu},$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$ - абсолютная температура;  $N$ - число Авогадро;  $\sigma$  –давление в точке контакта;  $r$  – радиус диффундирующих частиц;  $\mu$  – динамическая вязкость среды.

Значение газовой постоянной « $R$ » при ЭХРО изменяется в широких пределах. Поэтому в [20] для расчета  $D_k$  используется формула

$$D_k = 0,96 \cdot 10^{-3} [1+0,0289 (T-273)].$$

Значение  $\nu$  на участке «а» (рис. 6) имеет величину, соответствующую по [3] параметру технического машинного масла при  $T=315$  К.

Протяженность фронта обработки может быть приведена к дуге перекрытия зубчатого зацепления, которая по [1]:

$$L = \varepsilon \cdot p_i, \tag{4}$$

где  $\varepsilon$  - коэффициент перекрытия, по [1] « $\varepsilon$ » можно принять равным 1,2-1,5;  $p_i$  –шаг между зубьями  $p_i = \frac{\pi m}{z}$ , где  $m$  - модуль.

Средняя скорость прокачки электролита в данном случае определяется с учетом того, что в зоне контакта зубьев рабочая среда с определенной вязкостью перемещается с проскальзыванием.

Тогда для  $L$  при частоте вращения  $n$

$$W_0 = KL \cdot n = K\varepsilon p_i n, \tag{5}$$

где  $K$  – коэффициент проскальзывания, который показывает отставание жидкости от участка соприкосновения колес.

Тогда из (5) можно выразить частоту вращения зубчатых колес

$$n = \frac{W_0 \cdot z_{зуб}}{K \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot D}, \tag{6}$$

где  $z_{зуб}$  – число зубьев обрабатываемой детали;

$D$  – диаметр обрабатываемой детали по начальной окружности.

По рис. 6 минимальный зазор в точке «а» составляет  $S_1$ , а максимальный («б», рис. 6)

$$S_2 = S_1 + \Delta z(\tau),$$

где  $\Delta z(\tau)$  – изменение неравномерности припуска за время протекания процесса  $\tau$ .

Если не учитывать перекрытие эвольвенты в зацеплении, линейное растворение металла ( $V$ ) при чистовой обработке по [4], в точках «а» и «б» соответственно составит

$$V_6 = \frac{\alpha}{\gamma} \eta \frac{\chi(U - \Delta U)}{\Delta z(\tau)}, \quad (7)$$

$$V_a = \frac{\alpha}{\gamma} \eta \frac{\chi(U - \Delta U)}{\delta}, \quad (8)$$

где  $\alpha$ - электрохимический эквивалент сплава;

$\chi$ - удельная проводимость среды;

$\gamma$ - удельный вес сплава;

$\eta$ - выход по току;

$U$ - напряжение на электродах;

$\Delta U$  – потери напряжения.

Учитывая интервал времени  $\tau_6$ , в течении которого должен быть удален заданный слой металла  $z_{\min}$  с обрабатываемой детали, при соблюдении условия  $\Delta z \leq \delta_n$ , из (7), (8)

$$\Delta z(\tau) = [V_a(\tau) - V_6(\tau)]\tau_6.$$

Тогда

$$\tau_6 = \frac{4,64\gamma\Delta z(\tau)^2 \sqrt{\frac{\nu L}{W_0}}}{\sqrt[3]{\frac{\nu}{D}} \cdot \alpha\eta\chi(U - \Delta U) \left[ \Delta z(\tau) - 4,64 \sqrt{\frac{\nu L}{W_0}} \sqrt[3]{\frac{\nu}{D}} \right]} \quad (9)$$

С учетом известных законов, по которым происходит ЭХРО, обработка в точках «а» и «б» происходит за равные отрезки времени ( $\tau_a = \tau_6 = \tau$ ), хотя скорость анодного растворения в точке «а» будет существенно выше, т.к. величина « $\delta$ » измеряется микронами и при выполнении условия массовыноса [4] повышенный съем материала в точке «а» будет снижать неравномерность припуска.

Для осуществления неравенства (2) в конце обработки необходимо достичь

$$\Delta z \leq \delta_n.$$

Тогда при условии (9)

$$\Delta z = z_{\min} \Delta z(\tau) \left( \frac{\sqrt[3]{\frac{\nu}{D}}}{4,64 \sqrt{\frac{\nu L}{W_0}}} - \frac{1}{\Delta z(\tau)} \right) \leq \delta_n, \quad (10)$$

где  $L, W_0$  – находят по (4), (5).

Решение уравнения (9) позволяет управлять процессом доводки через значение времени обработки  $t$ , при котором выполняется условие (10).

#### 4 Обсуждение и заключение

Приведенные выше расчетные зависимости позволяют управлять процессом низковольтной доводки сопрягаемых эвольвентных колес с достаточной точностью. На рис. 7 показаны расчетные результаты вычислений по предложенной модели. Показано, что профиль зуба выравнивается при стремлении соотношения максимального и минимального припусков к единице за достаточно небольшое время (менее 10 секунд) при величине межэлектродного зазора, близкой к толщине оксидной пленки (точка «а» на рис. 6) и величинах напряжений, близких к величине потерь в зоне контакта электродов.

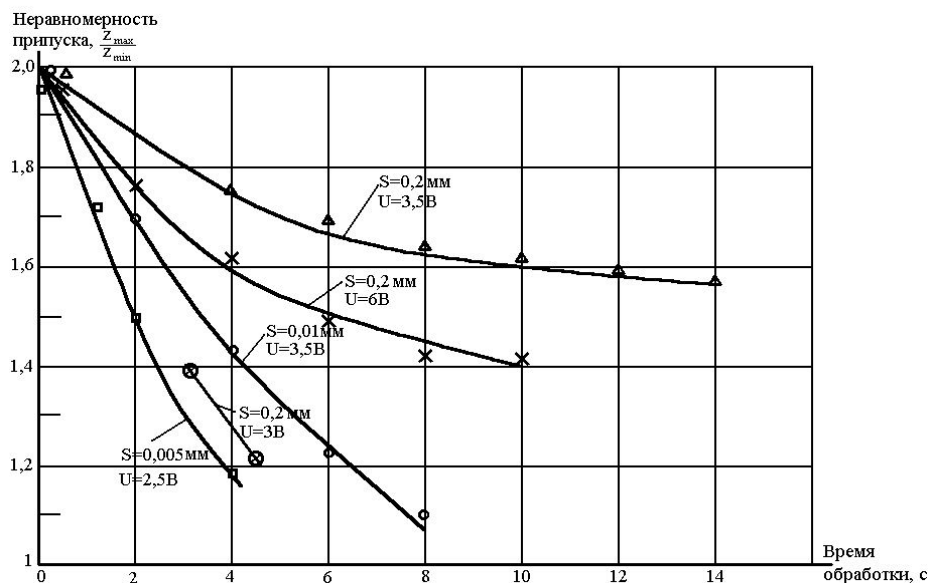


Рисунок 7 – Выравнивание профиля зуба при различных величинах межэлектродного промежутка и рабочего напряжения

Исходя из проведенных расчетов, можно говорить, что по предлагаемому способу появляется возможность снизить трудоемкость доводки зубчатых колес не менее чем на порядок за счет одновременной обработки всего профиля эвольвенты с дискретным удалением припуска на изношенных участках.

#### Список литературы

- 1 Справочник технолога (справочное издание) / под. ред. Сулова 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.
- 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.

- 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.
- 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 волоочно-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. Лятегин // 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 Obtaining Artificial Roughness On The Surfaces Of Heat-Loaded Parts Of The Liquid Rocket Engines Combustion Chamber / A.Yu. Ryazantsev, A.A. Shirokzhukhova, Yikhnevich 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.

### 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: "Stinza", 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, Yuhnevich 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.

© Смоленцев Е.В., Бабенков Н.Н., Грицюк В.Г., Ковалёв С.В., 2023

DOI: [10.34220/2311-8873-2023-23-29](https://doi.org/10.34220/2311-8873-2023-23-29)



УДК 621.9.047

UDC 621.9.047

2.5.6 – технология машиностроения

**ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ**

**INFLUENCE OF ELECTROCHEMICAL PROCESSING MODES ON MICROHARDNESS OF TITANIUM ALLOYS SURFACE LAYERS**

**Болдырев Александр Иванович,**  
д-р техн. наук, профессор кафедры технологии машиностроения, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж.

**Boldyrev Alexander Ivanovich,**  
Dr. of Tech. Sc., Professor of Mechanical Engineering Technology Chair of the Voronezh State Technical University, Voronezh.

**Болдырев Александр Александрович,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры технологии машиностроения, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж.

**Boldyrev Alexander Aleksandrovich,**  
Cand. of Tech. Sc., Associate Professor of Mechanical Engineering Technology Chair of the Voronezh State Technical University, Voronezh.

✉<sup>1</sup> **Перова Алла Владимировна,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры технологии машиностроения, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, e-mail: [pva7@mail.ru](mailto:pva7@mail.ru)

✉<sup>1</sup> **Perova Alla Vladimirovna,**  
Cand. of Tech. Sc., Associate Professor of Mechanical Engineering Technology Chair of the Voronezh State Technical University, Voronezh, e-mail: [pva7@mail.ru](mailto:pva7@mail.ru)

**Григораш Владимир Васильевич,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры металлических и деревянных конструкций, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж.

**Grigorash Vladimir Vasilyevich,**  
Cand. of Tech. Sc., Associate Professor of Chair of Metal and Wooden Structures of the Voronezh State Technical University, Voronezh.

**Падурец Анна Александровна,**  
магистрант кафедры технологии машиностроения, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж.

**Padurets Anna Alexandrovna,**  
Master's student of the Mechanical Engineering Technology Chair of the Voronezh State Technical University, Voronezh.

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию влияния режимных параметров электрохимической размерной обработки на микротвердость титановых сплавов, связь её с газонасыщением поверхностного слоя и изменение по глубине.

**Annotation.** The article is devoted to the study of the influence of regime parameters at electrochemical dimensional processing on the microhardness of titanium alloys, its connection with the gas saturation of the surface layer and the change in depth.

**Ключевые слова:** МИКРОТВЁРДОСТЬ, ТИТАНОВЫЙ СПЛАВ, ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА, ГАЗОНАСЫЩЕНИЕ, ПОВЕРХНОСТНЫЙ СЛОЙ.

**Keywords:** MICROHARDNESS, TITANIUM ALLOY, ELECTROCHEMICAL TREATMENT, GAS SATURATION, SURFACE LAYER.

<sup>1</sup> Автор для ведения переписки

## 1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

При производстве изделий авиационной и ракетно-космической техники широкое применение находит электрохимическая размерная обработка деталей, особенно изготовленных из труднообрабатываемых материалов и в частности из титановых сплавов. Из работ [1-3] известно, что проникновение кислорода в поверхностный слой деталей из титановых сплавов, как правило, сопровождается возникновением упрочнения (увеличением его микротвердости по сравнению с исходным состоянием сплава). В связи с этим создаются предпосылки для предположения, что оксидирование поверхностного слоя, сопутствующее электрохимической размерной обработке титановых сплавов [4-6], и приводит к повышению его микротвердости. Упрочнение же поверхностных слоев на финишных операциях технологического процесса изготовления титановых деталей ведет к повышению их эксплуатационных характеристик [7].

Задачами исследования являлось установление влияния режимных параметров электрохимической размерной обработки на микротвердость, связь ее с газонасыщением поверхностного слоя и изменение по глубине.

## 2 Материалы и методы

Исследование микротвердости поверхности после электрохимической обработки проводилось по следующей методике.

Цилиндрические образцы из титановых сплавов ВТ 9, ВТ 20 и ОТ 4-2 по ГОСТ 19807-91 диаметром 25-40 мм и высотой 15 мм обрабатывались в специальной электрохимической ячейке на станке мод. СЭХО-901. Согласно рекомендациям [8, 9] цилиндрический электрод-инструмент выполнялся из латуни ЛС 59-1 с высотой микронеровностей рабочей поверхности  $R_a = 0,63$  мкм. В качестве источника тока использовался трехфазный однополупериодный выпрямитель ВАКГ-6/12 с системой, позволяющей поддерживать постоянными напряжение и плотность тока. Межелектродный зазор для электрохимической обработки устанавливался посредством индикатора с ценой деления 0,01 мм.

Процентное содержание газов (водорода и кислорода) в поверхностном слое определялось спектральным методом [10] на спектрографе ИСП 67. Расшифровка полученного спектра проводилась на микроскопе МИР-12 с использованием спектральных таблиц. Величина газонасыщения определялась фотометрированием по интенсивности почернения пленки на микрофотометре МФ 4 с шириной щели 0,2-0,3 мм при использовании 4 эталонов для построения градуированного графика.

Для определения кислорода использовалась вакуум-камера с вакуум-насосом ВН 461М, которая позволяла проводить исследования при давлении 1,33 Па. Перед проведением экспериментов вакуум-камера продувалась аргоном.

Для определения газонасыщения и микротвердости по глубине на обрабатываемых образцах выполнялись двусторонние косые срезы. Для анализов и измерений на поверхности в центральной части образцов оставлялась полоса шириной 10 мм. Подготовка косых срезов осуществлялась в специальном приспособлении напильниками с бархатной насечкой, снимающими очень небольшой слой металла толщиной 0,025-0,05 мм и дающими высокую точ-



ность обработки в пределах 0,01-0,005 мм. Режим обработки образцов обеспечивал сохранение низкой температуры в зоне резания, не приводящей к изменениям в поверхностном слое.

Микротвердость определялась с помощью микротвердомера ПМТ-3М1 согласно инструкциям ГОСТа 9450-76 и рекомендациям [11].

Исходное состояние образцов:

- содержание водорода Н, % – 0,005;
- содержание кислорода О, % – 0,08;
- микротвердость поверхностного слоя  $H_M$ , Н/мм<sup>2</sup> – 2900.

Анодное растворение осуществлялось в водных растворах электролитов двух составов (состав I – при соотношении компонентов NaCl:NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> = 3:2, состав II – при соотношении компонентов NaCl:KBr = 1:1) при 5 %, 10 %, 15 %, 20 % и 25 % концентрации (К).

Оптимальные режимы электрохимической размерной обработки выбирались в соответствии с рекомендациями работ [8, 9, 12-14].

### 3 Результаты исследований

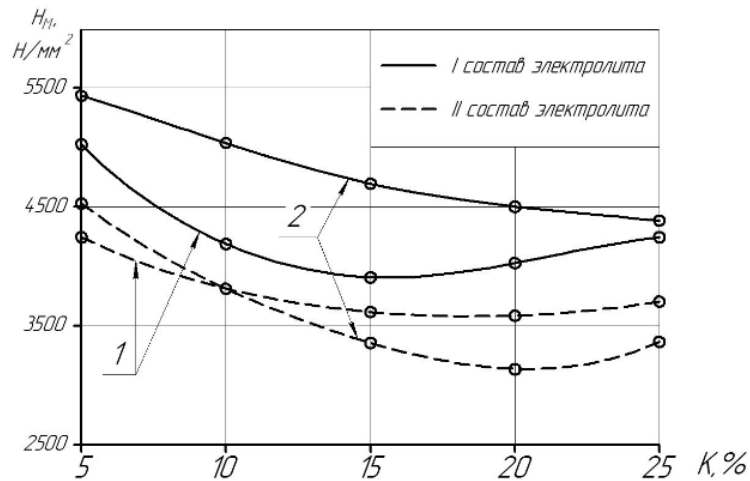
Для определения влияния состава и концентрации электролита при анодном растворении титановых сплавов на микротвердость поверхностей был выполнен комплекс экспериментальных исследований. Зависимости микротвердости поверхности  $H_M$  от концентрации электролита на двух исследуемых составах представлены на рис. 1.

Из графиков видно, что при повышении концентрации электролита наблюдается тенденция к снижению микротвердости поверхности, что вполне согласуется с данными по газонасыщению. Микротвердость обработанной поверхности при обработке в электролите состава I явно выше, чем в электролите состава II. Полученные результаты подтверждают, что при применении электролита состава I происходит большее проникновение кислорода в поверхностный слой.

Совместные исследования влияния плотности тока на микротвердость и газонасыщение позволили установить связь характеристик поверхностного слоя (рис. 2). Анализ графических зависимостей показывает, что с возрастанием плотности тока уменьшается микротвердость, наводороживание и оксидирование. Кривые микротвердости и оксидирования практически эквидистантны, а кривая наводороживания проходит значительно круче.

Характер изменения рассматриваемых показателей, а также работы [12] позволяют предположить, что при электрохимическом методе обработки основное влияние на микротвердость поверхностного слоя титановых сплавов оказывает содержание кислорода. Для определения степени влияния сняты зависимости микротвердости от оксидирования поверхности (рис. 3). Содержание кислорода в этих экспериментах изменялось за счет температуры электролита.

Анализ результатов исследований показал, что для всех исследуемых сплавов зависимости имеют линейный участок  $b - c$ , где микротвердость поверхности пропорциональна содержанию кислорода и зависит от количества кислородных соединений в структуре сплава. Участки кривых  $c - d$  соответствуют повышенному содержанию кислорода в поверхности. Они получены при высоких ( $\approx 70^\circ \text{C}$ ) температурах электролита. На этих участках повышение микротвердости уже прекращается и начинается ее снижение.



1 – сплав ВТ 9; 2 – сплав ОТ 4-2

Рисунок 1 – Зависимость микротвердости поверхности от концентрации электролита:

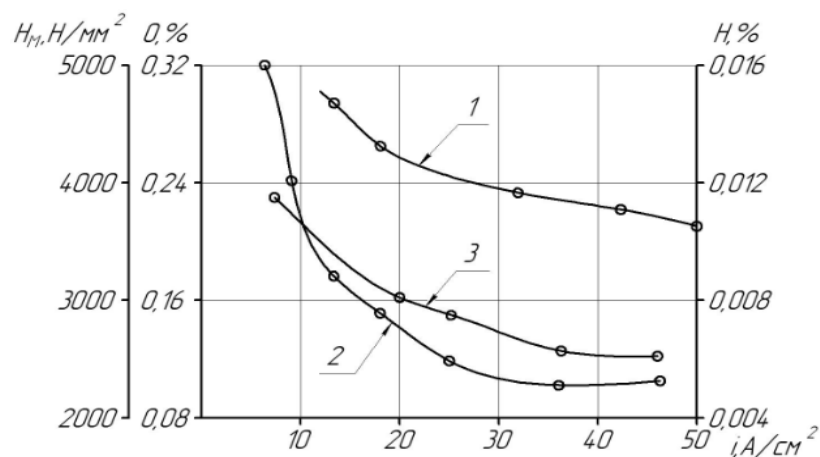
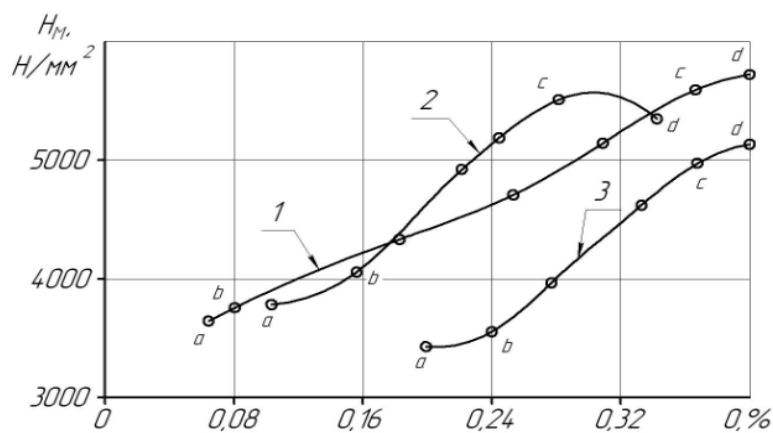


Рисунок 2 – Зависимости микротвердости (1), наводораживания (2) и оксидирования (3) от плотности тока



1 – сплав ВТ 9; 2 – сплав ВТ 20; 3 – сплав ОТ 4-2

Рисунок 3 – Зависимость микротвердости от содержания кислорода в поверхностном слое

Участки *a – b* графических зависимостей получены при низких значениях температур электролита. Здесь также нарушается пропорциональная зависимость микротвердости от степени окислирования поверхности. Эти закономерности, на наш взгляд, вполне объяснимы: при значительном отклонении температуры электролита от оптимальных значений изменяются процессы, происходящие на аноде, поверхность покрывается серой окисной пленкой, которая определяет значение микротвердости.

Диапазон изменения микротвердости поверхностного слоя для всех трех сплавов и исследуемых составов электролитов (изменение концентрации – 5-25 %) представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Микротвердость поверхности, Н/мм<sup>2</sup>

Электролит	Титановый сплав		
	ВТ 9	ВТ 20	ОТ 4-2
Состав I	3500-5500	3500-5300	3500-5000
Состав II	3000-4500	3500-5000	3000-4500

Для полной характеристики свойств обработанной поверхности выполнены исследования микротвердости поверхностного слоя по глубине после электрохимической размерной обработки на оптимальных режимах в электролитах различных составов, концентраций и температур. На рис. 4 графически представлены полученные зависимости.

Таблица 2 – Глубина слоя с измененной микротвердостью, мм

Электролит	Титановый сплав		
	ВТ 9	ВТ 20	ОТ 4-2
Состав I	0,20-0,25	0,15-0,20	0,20-0,25
Состав II	0,10-0,15	0,15-0,20	0,15-0,20

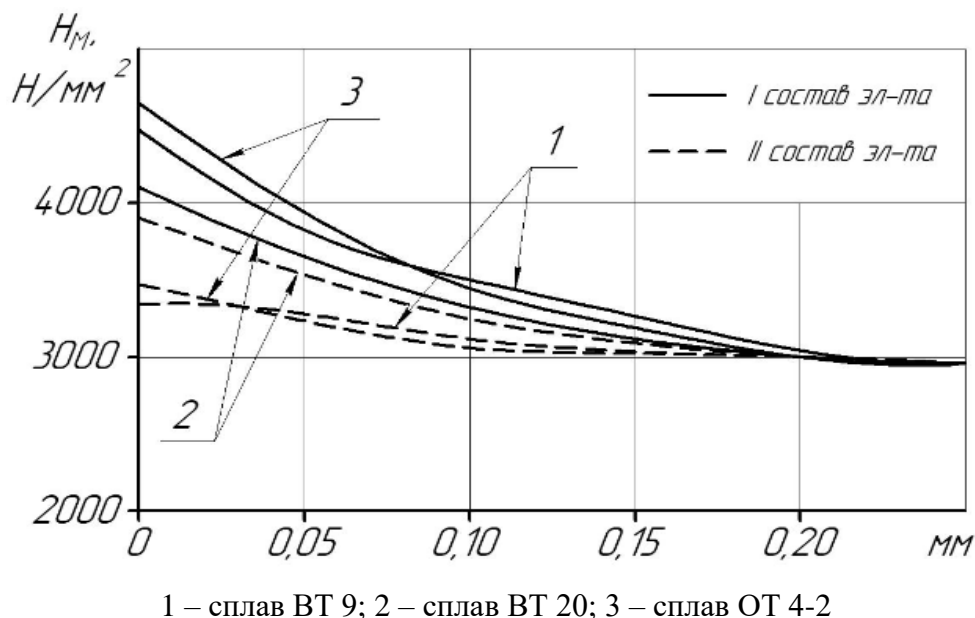


Рисунок 4 – Изменение микротвердости по глубине проникновения

#### 4 Обсуждение и заключение

1. Изменение микротвердости определяется содержанием кислорода в поверхности и колеблется при изменении режимов анодного растворения в пределах 3000-5500 Н/мм<sup>2</sup>.
2. Изменение микротвердости поверхностного слоя зависит от обрабатываемого титанового сплава и применяемого электролита.
3. Оксидирование поверхностного слоя титановых сплавов при электрохимической размерной обработке приводит к появлению слоя с измененной микротвердостью глубиной до 0,2-0,25 мм. При оптимальных режимах обработки микротвердость поверхностного слоя по сравнению с исходным состоянием сплава увеличивается в 1,2-1,6 раза.

#### Список литературы

- 1 Sieniawski J. Titanium Alloys Advances in Properties Control / J. Sieniawski, W. Ziaja. Intech. 2013. 155 p.
- 2 Производство и применение редких и редкоземельных металлов / Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 24-2020. М.: Бюро НДТ, 2020. С. 99-108.
- 3 Froes F. Titanium for Consumer Application: Real-World Use of Titanium / F. Froes, M. Qian, M. Niinomi. Elsevier, 2019. 356 p.
- 4 Qu Ningsong. Wire electrochemical machining with axial electrolyte flushing for titanium alloys / Ningsong Qu, Xiaolong Fang, Wei Li, Yongbin Zeng, Di Shu // Chinese Journal of Aeronautics. 2013. Volume 26. Issue 1. P. 224-229.
- 5 Давыдов А.Д. Электрохимическая размерная обработка титана / А.Д. Давыдов, Т.Б. Кабанова, В.М. Волгин // Электрохимия, 2017, № 9, с. 1056-1082.
- 6 Смоленцев Е.В. Электрохимическая обработка титановых сплавов проволокой с осевой подачей электролита // Е.В. Смоленцев, В.Г. Грицюк, О.Г. Шипилова, Д.Е. Крохин // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2018. № 6. С. 146-151.
- 7 Безъязычный В.Ф. Обеспечение показателей качества поверхностного слоя деталей ГТД на эксплуатационные свойства / В.Ф. Безъязычный. Рыбинск: ОАО «НПО «Сатурн»», 2004. 314 с.
- 8 Справочник технолога-машиностроителя. Т. 2 / В.Н. Андреев, А.Н. Афонин, В.Ф. Безъязычный и др.: под ред. А.С. Васильева, А.А. Кутина. М.: Инновационное машиностроение. 2018. 818 с.
- 9 Справочник технолога / А.Г. Суслов, В.Ф. Безъязычный, Б.М. Базров и др.: под общ. ред. А.Г. Суслова. М.: Инновационное машиностроение. 2019. 800 с.
- 10 Борисова О.М. Химические, физико-химические и физические методы анализа / О.М. Борисова, В.Д. Сальников. М.: Металлургия, 1991. 268 с.
- 11 Теплоухов А.А., Измерение микротвердости поверхностных слоев материалов / А.А. Теплоухов. Омск: Изд-во ОмГТУ. 2017. 35 с.
- 12 El-Taweel T.A. Performance analysis of wire electrochemical turning process – RSM approach / T.A. El-Taweel, S.A. Glouda // Int. J/ Adv. Manuf. Technol. 2011. P. 181-190.
- 13 Dikova T. Surface morphologie of pure titanium after anodization / T. Dikova // Machines, technologies, materials. 2014. №12. P. 3–7.
- 14 Park H. Characterization of highly ordered TiO<sub>2</sub> nanotube arrays obtained by anodic oxidation / H. Park, H.-G. Kim, W.-Y. Choi // Transactions on electrical and electronical materials. 2010. Volume 11. № 3. P. 112-115.

### References

- 1 Sieniawski J. Titanium Alloys Advances in Properties Control / J. Sieniawski, W. Ziąja. Intech. 2013. 155 p.
- 2 Proizvodstvo i primeneniye redkix i redkozemel'ny'x metallov / Informacionno-tekhnicheskij spravochnik po nailuchshim dostupny'm tekhnologiyam ITS 24-2020. M.: Byuro NDT, 2020. S. 99-108.
- 3 Froes F. Titanium for Consumer Application: Real-World Use of Titanium / F. Froes, M. Qian, M. Niinomi. Elsevier, 2019. 356 p.
- 4 Qu Ningsong. Wire electrochemical machining with axial electrolyte flushing for titanium alloys / Ningsong Qu, Xiaolong Fang, Wei Li, Yongbin Zeng, Di Shu // Chinese Journal of Aeronautics. 2013. Volume 26. Issue 1. P. 224-229.
- 5 Davy`dov A.D. E`lektroximicheskaya razmernaya obrabotka titana / A.D. Davy`dov, T.B. Kabanova, V.M. Volgin // E`lektroximiya, 2017, № 9, s. 1056-1082.
- 6 Smolencev E.V. E`lektroximicheskaya obrabotka titanovy`x splavov provolokoj s osevoj podachej e`lektrolita // E.V. Smolencev, V.G. Griczyuk, O.G. Shipilova, D.E. Kroxin // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2018. № 6. S. 146-151.
- 7 Bez`yazy`chny`j V.F. Obespecheniye pokazatelej kachestva poverxnostnogo sloya detalej GTD na e`kspluatacionny`e svojstva / V.F. Bez`yazy`chny`j. Ry`binsk: OAO «NPO «Saturn»», 2004. 314 s.
- 8 Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya. T. 2 / V.N. Andreev, A.N. Afonin, V.F. Bez`yazy`chny`j i dr.: pod red. A.S. Vasil`eva, A.A. Kutina. M.: Innovacionnoe mashinostroeniye. 2018. 818 s.
- 9 Spravochnik tekhnologa / A.G. Suslov, V.F. Bez`yazy`chny`j, B.M. Bazrov i dr.: pod obshh. red. A.G. Suslova. M.: Innovacionnoe mashinostroeniye. 2019. 800 s.
- 10 Borisova O.M. Ximicheskie, fiziko-ximicheskie i fizicheskie metody` analiza / O.M. Borisova, V.D. Sal`nikov. M.: Metallurgiya, 1991. 268 s.
- 11 Teplouxov A.A., Izmereniye mikrotverdosti poverxnostny`x sloev materialov / A.A. Teplouxov. Omsk: Izd-vo OmGTU. 2017. 35 s.
- 12 El-Taweel T.A. Performance analysis of wire electrochemical turning process – RSM approach / T.A. El-Taweel, S.A. Glouda // Int. J/ Adv. Manuf. Technol. 2011. P. 181-190.
- 13 Dikova T. Surface morphologie of pure titanium after anodization / T. Dikova // Machines, technologies, materials. 2014. №12. P. 3–7.
- 14 Park H. Characterization of highly ordered TiO<sub>2</sub> nanotube arrays obtained by anodic oxidation / N. Park, H. – G. Kim, W. – Y. Choi // Transactions on electrical and electronical materials. 2010. Volume 11. № 3. P. 112-115.

© Болдырев А.И., Болдырев А.А., Перова А.В., Григораш В.В., Падурец А.А., 2023

DOI: 10.34220/2311-8873-2023-30-39



УДК 621.791.927.5

UDC 621.791.927.5

2.5.6 – технология машиностроения

**ВЫЯВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КРИВИЗНЫ ПРИЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЕДИНИЧНОГО НАПЛАВЛЯЕМОГО СЛОЯ ПРИ АДДИТИВНОМ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГОЙ В СРЕДЕ ЗАЩИТНОГО ГАЗА**

**IDENTIFICATION OF THE EFFECT OF THE CURVATURE OF THE RECEIVING SURFACE ON THE GEOMETRIC PARAMETERS OF A SINGLE DEPOSITED LAYER DURING ADDITIVE SHAPING BY AN ELECTRIC ARC IN A PROTECTIVE GAS MEDIUM**

**Щербаков Павел Сергеевич,**  
аспирант, Юго-Западный государственный университет, г. Курск.

**Shcherbakov Pavel Sergeevich,**  
postgraduate student, Southwest State University, Kursk.

**Куц Вадим Васильевич,**  
д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры машиностроительных технологий и оборудования, Юго-Западный государственный университет, г. Курск.

**Kuts Vadim Vasilyevich,**  
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Mechanical Engineering Technologies and Equipment, Southwest State University, Kursk.

**Гречухин Александр Николаевич,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры машиностроительных технологий и оборудования, Юго-Западный государственный университет, г. Курск.

**Grechukhin Alexander Nikolaevich,**  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machine-Building Technologies and Equipment, Southwest State University, Kursk.

**Олешицкий Алексей Вячеславович,**  
аспирант, Юго-Западный государственный университет, г. Курск.

**Oleshitsky Alexey Vyacheslavovich,**  
postgraduate student, Southwest State University, Kursk.

**Аннотация.** Статья посвящена изучению влияния кривизны приемной поверхности на геометрические параметры единичного наплавленного слоя при аддитивном формообразовании электрической дугой в среде защитного газа. На основе теоретических исследований установлена математическая зависимость для расчета высоты единичного наплавленного слоя с учетом формы приемной поверхности. Установлена теоретическая закономерность изменения высоты единичного наплавленного слоя от кривизны приемной поверхности. Для подтверждения полученной теоретической зависимости были спланированы и

**Annotation.** The article is devoted to the study of the effect of the curvature of the receiving surface on the geometric parameters of a single deposited layer during additive shaping by an electric arc in a protective gas medium. Based on theoretical studies, a mathematical dependence has been established for calculating the height of a single deposited layer, taking into account the shape of the receiving surface. The theoretical regularity of the change in the height of a single deposited layer from the curvature of the receiving surface is established. To confirm the obtained theoretical dependence, a series of experiments were planned and carried out, according to the results of which, on the basis of dispersion

проведены серии экспериментов, по результатам которых, на основе дисперсионного анализа, установлено влияние кривизны приемной поверхности на геометрически параметры единичного наплавленного слоя.

analysis, the influence of the curvature of the receiving surface on the geometrically parameters of a single deposited layer was established.

**Ключевые слова:** АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ФОРМООБРАЗОВАНИЕ, ВЫПУКЛАЯ ПОВЕРХНОСТЬ, ВОГНУТАЯ ПОВЕРХНОСТЬ, ПОГРЕШНОСТЬ.

**Keywords:** ADDITIVE TECHNOLOGIES, FORM-FORMATION, CONVEX SURFACE, CONCAVE SURFACE, SINFULNESS.

<sup>1</sup> Автор для ведения переписки

## 1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

В настоящее время аддитивные технологии применяются во многих сферах промышленной деятельности. Применения таких технологий позволяет сократить экономические затраты на определенных этапах технологического процесса. Благодаря разработке новых технологий и способов формирования единичных слоев, становится возможным расширение области применения технологий аддитивного формообразования [1-5].

Одним из наиболее производительных является способ аддитивного формообразования изделий, реализующий послойное построение посредством расплавления металлической проволоки электрической дугой с последующим застыванием расплавленного материала. Такой процесс происходит в среде защитного газа, имеет ряд преимуществ, обозначенных в работах [6-8].

В то же время, следует отметить некоторые недостатки способа аддитивного формообразования электрической дугой, среди которых выделяют относительно низкую точность изготовления, деформацию изделия. Однако, обозначенный выше способ является перспективным, о чем свидетельствует достаточно большое количество публикаций, посвященных изучению проблем и решению задач в области аддитивного формообразования с помощью электрической дуги.

Одной из таких проблем является проблема формирования структуры металла наплаваемых валиков [9-12]. Другой, не менее важной проблемой является обеспечение точности геометрии деталей, полученных таким способом [13-20]. Авторами отмечается, что одной из причин, которая может быть связана с этим, является значительный перегрев, которому подвергаются предыдущие слои в ходе значительного долгосрочного термического воздействия. Так же, с этим фактором может быть связано изменение геометрии получаемых изделий. При увеличении высоты наплаваемого изделия могут наблюдаться значительные изменения геометрии наплаваемого слоя.

Другим недостатком способа аддитивного формообразования электрической дугой является анизотропия физико-механических свойств изделий, что сказывается на качестве и уровне эксплуатации этих изделий. Одним из решений данной проблемы может стать реализация заполнения внутренней структуры изделий слоями криволинейной формы. В работе [21], рассмотрены способы разделения цифровой модели на криволинейные слои для 3D печати, в частности на слои цилиндрической и конической формы, разработан алгоритм деления цифровой модели на криволинейные слои для 3D печати.

## 2 Материалы и методы

Построение изделий криволинейными слоями цилиндрической формы возможно производить, как на подготовленную ранее приемную поверхность, так и на поверхность, сфор-

мированную в процессе аддитивного формообразования. Следует отметить, что изменение геометрических параметров приемной поверхности может оказывать существенное влияние на геометрические параметры поперечного сечения единичных наплаваемых слоев, что необходимо учитывать при разработке алгоритмов разделения и заполнения их внутренней структуры. Поэтому актуальной задачей является установление влияния кривизны приемной поверхности на геометрические параметры единичных наплаваемых слоев при аддитивном формообразовании электрической дугой в среде защитного газа.

### 3 Результаты исследований

Для теоретического исследования влияния кривизны приемной поверхности на формируемый слой было составлено уравнение кривой, описывающей наружный участок наплаваемого слоя в виде эквидистанты (рис. 1)

$$\bar{r}_1(t, h) = \bar{r}_0(t) + \bar{n}(t) \cdot h, \quad (1)$$

где  $\bar{r}_0$  – векторное уравнение участка кривой приемной поверхности, вдоль которой происходит перемещение экструдера  $\bar{r}_0(t) = [x_0(t), y_0(t), 0, 1]^T$ , где  $t$  – параметр определяющий точку на кривой  $\bar{r}_0$ ;  $h$  – высота наплаваемого слоя;  $\bar{n}(t)$  – нормаль к кривой  $\bar{r}_0(t)$ , которую можно вычислить по формуле:

$$\bar{n}(t) = \frac{\begin{bmatrix} -\frac{\partial y_0(t)}{\partial t}, \frac{\partial x_0(t)}{\partial t}, 0, 0 \end{bmatrix}^T}{\left| \begin{bmatrix} -\frac{\partial y_0(t)}{\partial t}, \frac{\partial x_0(t)}{\partial t}, 0, 0 \end{bmatrix}^T \right|}. \quad (2)$$

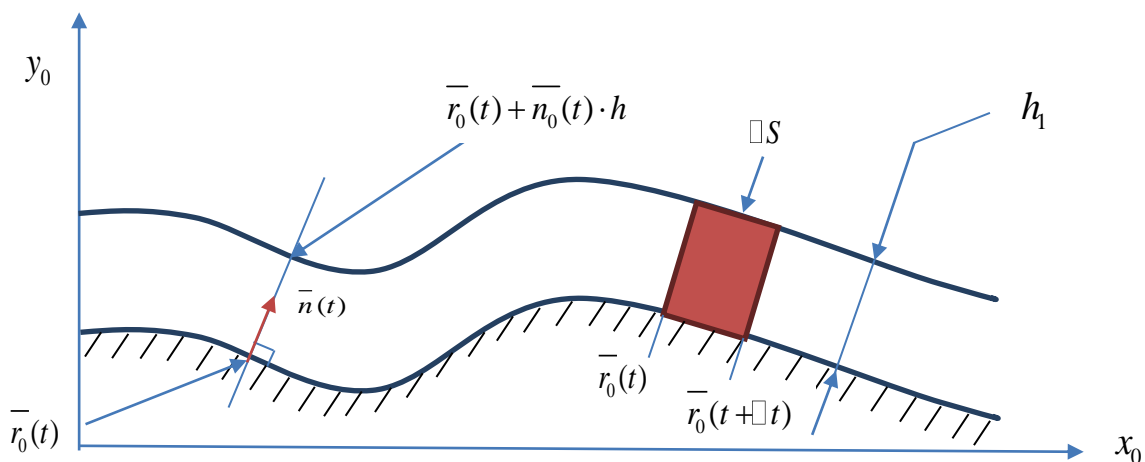


Рисунок 1 – Наплаваемый слой

Тогда, при высоте слоя, равной  $h_1$ , площадь продольного сечения наплаваемого слоя при перемещении экструдера из точки  $\bar{r}_0(t)$  в точку  $\bar{r}_0(t + \Delta t)$ , где  $\Delta t$  – шаг дискретного перемещения экструдера по кривой  $\bar{r}_0(t)$  можно вычислить по формуле:



$$\Delta S = \int_0^{h_1} \int_t^{t+\Delta t} \left| \frac{\partial \bar{r}_1(t,h)}{\partial t} \right| dt dh. \quad (3)$$

Для прямолинейного участка формулу продольного сечения (3) можно представить в виде:

$$\Delta S_{II} = \Delta t \cdot h. \quad (4)$$

Если принять, что при перемещении экструдера на величину  $\Delta t$  в любой момент времени на приемную поверхность переносится одинаковое количество материала, принимая  $\Delta S = const$ , высоту наплавленного слоя ( $h_2$ ) на криволинейном участке  $\bar{r}_0(t)$  можно определить путем решения, относительно  $h_1$ , уравнения:

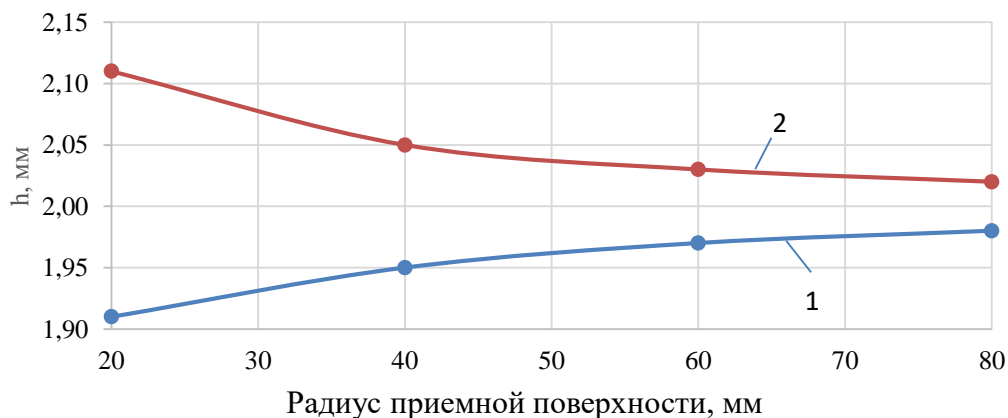
$$\Delta S = \Delta t \cdot h_1 = \int_0^{h_2} \int_{t-\Delta t/2}^{t+\Delta t/2} \left| \frac{\partial \bar{r}_1(t,h)}{\partial t} \right| dt dh. \quad (5)$$

На основании формулы (5) был проведен расчет изменения высоты наплавленного слоя на радиусных участках кривых, описанных уравнением:

$$\bar{r}_0(t) = \left[ t, \pm \sqrt{R^2 - t^2}, 0, 1 \right]^T, \quad (6)$$

где  $R$  - радиус кривизны приемной поверхности, знак «+» в формуле (6) соответствует выпуклой радиусной поверхности, а «-» вогнутой.

На основе формул (5) и (6) были выполнены вычисления с разными величинами кривизны приемной поверхности, при  $\Delta t = 0,01 \text{ мм}$  и  $h_1 = 2 \text{ мм}$ . Величина  $h_1$  — это высота единичного наплавленного слоя на плоской поверхности. Результаты вычислений представлены на графике (рис 2).



1 - Выпуклая поверхность; 2 - Вогнутая поверхность

Рисунок 2 – График зависимости высоты слоя от радиуса приемной поверхности

Из графика видно, что изменение высоты наплавляемого слоя в большей степени проявляется на вогнутых участках в диапазоне  $R$  от 20 до 60 мм. Высота может изменяться от 5,5 до 2,1 % для вогнутых кривых и от 4,6 до 1,9 % для выпуклых кривых.

Так же, в работе было выполнено экспериментальное исследование влияния радиуса кривизны приемной поверхности на изменение геометрических параметров единичного наплавляемого слоя. Эксперимент проводился на экспериментальном стенде, включающем источник питания сварочной дуги, а также мехатронную систему с возможностью управления позиционированием по пяти координатным осям (рис 3).



Рисунок 3 – Экспериментальный стенд

В качестве источника энергии для горения электрической дуги был применен сварочный полуавтомат инверторного типа модели Кедр MIG-160GDM.

За основу механизма подачи сварочной проволоки взят прижимной механизм экструдера МК8 3D принтера.

Процесс наплавления стальной проволоки производился в полуавтоматическом режиме на подготовленную приемную поверхность в среде защитного газа, закрепленную на столе стенда. В качестве материала построения использовалась стальная проволока марки Св09Г2С.

Единичные слои были наплавлены по следующей схеме:

- три образца единичного слоя на плоской поверхности;
- три образца единичного слоя на вогнутой радиусной поверхности;
- три образца единичных слоя на выпуклой радиусной поверхности.

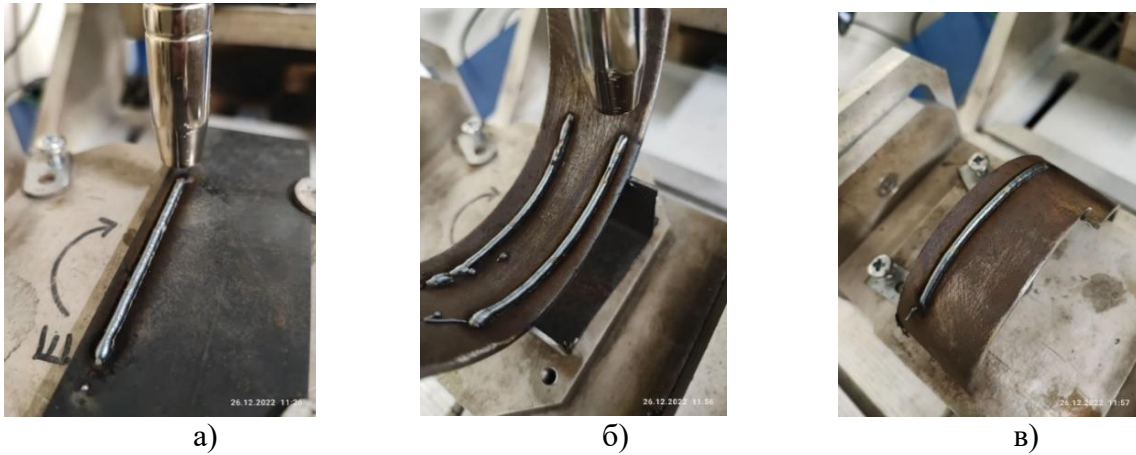
Режимы, при которых проводилась наплавления единичного слоя представлены в (таблице 1).

Таблица 1 – Режимы наплавки единичного слоя

Защитный газ	Давление подачи газа, МПа	Скорость перемещения сварочной горелки, мм/мин	Скорость подачи проволоки, мм/мин	Напряжение на дуге, В
Смесь аргона и углекислого газа	14	200	2800	19,5

В качестве приемной выпуклой поверхности применялись образцы круглого сечения, с величиной радиуса 21,5 мм из стали, в качестве приемной вогнутой поверхности применя-

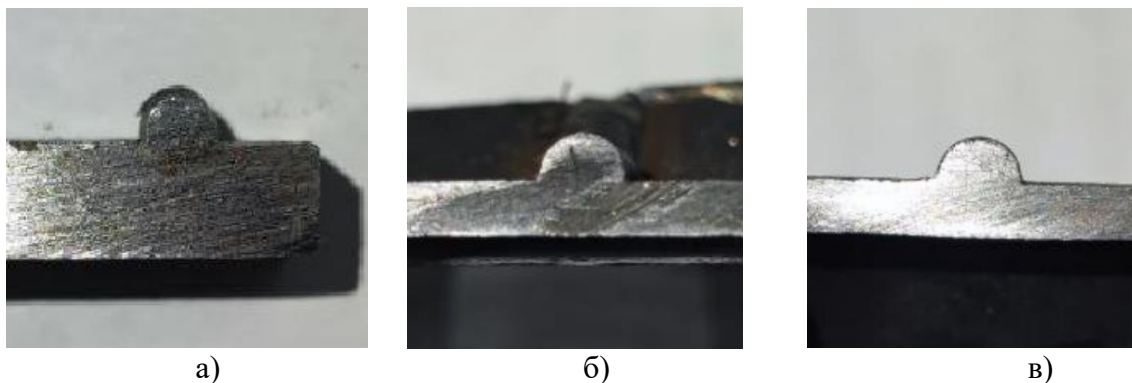
лись образцы круглого сечения с величиной радиуса 18,5 мм. Пример наплавки единичного слоя на требуемых видах поверхностях представлен на (рис. 4).



а) плоская поверхность; б) вогнутая радиусная поверхность;  
в) выпуклая радиусная поверхность

Рисунок 4 - Пример наплавки единичного слоя на разных поверхностях

После выполнения наплавки был произведен разрез заготовок (рис. 5).



а) на плоской приемной поверхности; б) на вогнутой радиусной приемной поверхности;  
в) на выпуклой радиусной приемной поверхности

Рисунок 5 – Разрез единичного наплавляемого слоя

Далее, с помощью микроскопа малого инструментального был произведен замер сечения единичного наплавленного слоя на каждом из образцов. Результаты измерений представлены в (таблице 2).

На основе полученных результатов был проведен однофакторный дисперсионный анализ влияния кривизны принимаемой поверхности на геометрические параметры единичного наплавляемого слоя (рис. 6).

Эффект	Одномерный критерий значимости для высоты слоя				
	SS	Степени свободы	MS	F	p
Вид поверхности	0,49844	2	0,24922	81,41	0,000045
Ошибка	0,01837	6	0,00306		

а)

Эффект	Одномерный критерий значимости для ширины слоя				
	SS	Степени свободы	MS	F	p
Вид поверхности	0,64162	2	0,32081	18,219	0,002826
Ошибка	0,10565	6	0,01761		

б)

а) для высоты слоя; б) для ширины слоя

Рисунок 6 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа

В результате проведенного анализа (см. рис. 6) установлено, что критерий значимости для высоты и ширины слоя  $p < 0,01$ . Полученные результаты свидетельствуют о том, что кривизна приемной поверхности является значимым фактором и влияет на изменение высоты и ширины единичного наплавленного слоя.

Таблица 2 – Результаты измерения сечения валика

Вид поверхности	Ширина слоя, мм	Высота слоя, мм
Выпуклая	3,665	1,945
	3,665	1,88
	3,61	1,92
Вогнутая	3,16	2,52
	2,965	2,45
	2,975	2,45
Плоская	3,37	1,995
	2,995	2,06
	3,065	2,155

Было проведено сравнение расчета высоты единичного наплавленного слоя с помощью формулы (5), где  $\square t = 0,01\text{мм}$  и  $h_1 = 2,07\text{мм}$ ,  $h_1$  – принималась равным высоте слоя наплавка которого происходила на плоской поверхности, с фактическим значением величины, полученной в результате измерения единичного наплавленного слоя. На выпуклой радиусной поверхности, при  $R = 21,5$  мм, высота единичного наплавленного слоя составила 1,92 мм, а результат расчетов с помощью формулы (5) составил 1,99 мм, при этом ширина слоя составила 3,65 мм. На вогнутой радиусной поверхности, при  $R = 18,5$  мм, высота единичного наплавленного слоя составила 2,47 мм, а результат расчетов составил 2,20 мм, при этом ширина слоя составила 3,03 мм. Сравнив результаты, можно увидеть, что погрешность расчетов не превышает 10%.

#### 4 Обсуждение и заключение

Выявлено, что радиус кривизны приемной поверхности значительно влияет на изменение геометрических параметров единичного наплавленного слоя при аддитивном формообразовании электрической дугой в сфере защитного газа. Это подтвердило математическое моделирование, в результате которого была установлена математическая зависимость с помощью, которой возможно рассчитать высоту единичного наплавленного слоя на приемной поверхности различного радиуса, а также экспериментальное исследование.

Поэтому параметр кривизны следует учитывать при разработке алгоритмов разделения и заполнения их внутренней структуры изделий криволинейными слоями цилиндрической формы.

### Список литературы

1 Burns M. Automated Fabrication: Improving Productivity in Manufacturing. Englewood Cliffs, N.J., USA:PTR Prentice Hall, 1993. 369 pp.

2 Сапрыкин А.А. Повышение производительности процесса селективного лазерного спекания при изготовлении прототипов: дис.... канд. техн. наук: 05.03.01:защищена 19.11.06: утв. 13.04.07. Юрга: Томский политехнический университет, 2006.

3 Improving the quality of additive methods for forming the surfaces of odd-shaped parts with the application of parallel kinematics mechanisms / V.V. Kuts, M.S. Razumov, A.N. Grechukhin, N.A. Bychkova //International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Т. 11. № 24. С. 11832-11835.

4 Доброскок В.Л., Абдурайимов Л.Н., Чернышов С.И. Рациональная ориентация изделий при их послойном формообразовании на базе исходной триангуляционной 3d модели // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2010. № 24. С. 13-21.

5 Optimum part deposition orientation in stereolithography / S.K. Singhal, A.P. Pandey, P.M. Pandey, A.K. Nagpal // Computer-Aided Design & Applications. 2005. Vol. 2. Nos. 1–4. P. 319–328.

6 Олешицкий А.В., Гаркавцева П.А., Гречухин А.Н. Создание установки для проволочно-дугового аддитивного производства на базе фрезерного станка с чпу В сборнике: ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ: ПУТИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ. Сборник научных статей 11-й Международной научно-практической конференции. Курск, 2022. С. 236-241.

7 Гречухин А.Н., Куц В.В., Щербаков П.С. Выявление влияния пространственной ориентации наплаваемых слоев, а также коэффициента их перекрытия на погрешность формы поверхности при аддитивном формообразовании электрической дугой //Вестник Воронежского государственного технического университета. Т. 17. № 6. 2021. DOI 10.36622/VSTU.2021.17.6.017.

8 Гаркавцева П.А., Гречухин А.Н. Разработка устройства для аддитивного формообразования электрической дугой с повышенной точностью В сборнике: Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. Сборник научных трудов XVII Международной научно-практической конференции. Редколлегия: Разумов М.С. (отв. ред.). Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. С. 133-138.

9 Hong S. Byun, Kwan H. Lee. Determination of optimal build direction in rapid prototyping with variable slicing // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2006. № 28. P. 307–313.

10 Hong S. Byun, Kwan H. Lee. Optimal part orientation of rapid prototyping using a genetic algorithm // Computers & Industrial Engineering. 2004. P. 426–431.

11 Hur J., Lee K. The development of a CAD environment to determine the preferred build-up direction for layered manufacturing // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 1998. № 14. P. 247–254.

12 Kim J.Y., Lee K., Park J.C. Determination of optimal part orientation in stereolithographic rapid prototyping // Technical Report, Department of Mechanical Design and Production Engineering. Seoul: Seoul National University. 1994.

13 Determining fabrication orientations for rapid prototyping with stereolithography apparatus / P.T. Lan, S.Y. Chou, L.L. Chent, D. Gemmill // Computer-Aided Design. 1997. Vol. 29. № 1. P. 53–62.

14 Improving the accuracy of additive forming methods Innovation, quality and service in engineering and technology/ A.N. Grechukhin, V.V. Kuts, M.S. Razumov and others. 2018. Pp. 128-131

15 Grechukhin A.N., Kuts V.V., Razumov M.S. Control of spatial orientation of robot units in the process of additive forming of products Bulletin of Voronezh state technical University. 2018. 4. Pp. 122-129

16 Grechukhin A.N., Kuts V.V., Razumov M.S. Experimental determination of the cross-section parameters of a single layer in the additive forming products News of Tula state University. Technical science. 2019. 10. Pp. 264-270

17 Grechukhin A.N., Anikutin I.S., Byshkin A.S. Management of space orientation of the end effector of generation of geometry system fiveaxis manufacturing machinery for additive generation of geometry MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 7. Pp. 128-136. DOI 10.1051/mateconf/201822601004

18 Grechukhin A.N., Kuts V.V., Razumov M.S. Ways to reduce the error of additive methods of forming – 2018 MATEC Web of Conferences. Vol. 7. Pp.142-150. DOI 10.1051/mateconf/201822601002

19 Grechukhin A.N., Kuts V.V., Oleshitskiy A.V. Development and Research of Technological Equipment that Implements Dynamic Control of Process of Additive Fabrication of Parts of Complex Spatial Shapes Based on Mechanisms with a Hybrid Layout. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 709(3). 033112. DOI 10.1088/1757-899X/709/3/033112

20 Investigation of the process of additive formation of fusible materials using a low-power solid-state laser/ V.V. Kuts, V.S. Merkulov, A.N. Grechukhin, A.S. Privalov// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. 1029(1). 012010. DOI 10.1088/1757-899X/1029/1/012010

21 Куц В.В., Гречухин А.Н., Олещицкий А.В., Привалов А.С., Щербakov П.С. АЛГОРИТМ ДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМНОЙ МОДЕЛИ НА КРИВОЛИНЕЙНЫЕ СЛОИ ДЛЯ 3Д-ПЕЧАТИ//Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2021. № 5 (349). С. 39-45.

### References

1 Burns M. Automated Fabrication: Improving Productivity in Manufacturing. Englewood Cliffs, N.J., USA:PTR Prentice Hall, 1993. 369 pp.

2 Saprykin A.A. Increasing the productivity of the selective laser sintering process in the manufacture of prototypes: dis. Candidate of Technical Sciences: 05.03.01: protected 19.11.06: approved 13.04.07. Jurga: Tomsk Polytechnic University, 2006.

3 Improving the quality of additive methods for forming the surfaces of odd-shaped parts with the application of parallel kinematics mechanisms / V.V. Kuts, M.S. Razumov, A.N. Grechukhin, N.A. Bychkova //International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Vol. 11. No. 24. pp. 11832-11835.

4 Dobroskok V.L., Abdurayimov L.N., Chernyshov S.I. Rational orientation of elements in their layered shaping based on the initial 3d triangulation model // Scientific Notes of the Crimean Engineering Pedagogical University. 2010. No. 24. pp. 13-21.

5 Optimum part deposition orientation in stereolithography / S.K. Singhal, A.P. Pandey, P.M. Pandey, A.K. Nagpal // Computer-Aided Design & Applications. 2005. Vol. 2. Nos. 1–4. P. 319–328.

6 Oleshitskiy A.V., Garkavtseva P.A., Grechukhin A.N. Creation of an installation for wire-arc additive manufacturing based on a cnc milling machine In the collection: TECHNIQUE AND TECHNOLOGY: WAYS OF INNOVATIVE DEVELOPMENT. Collection of scientific articles of the 11th International Scientific and Practical Conference. Kursk, 2022. pp. 236-241.

7 Grechukhin A.N., Kutz V.V., Shcherbakov P.S. Identification of the influence of the spatial orientation of the deposited layers, as well as their overlap coefficient on the error of the surface shape during additive shaping by an electric arc //Bulletin of the Voronezh State Technical University. Vol. 17. No. 6. 2021. DOI 10.36622/VSTU.2021.17.6.017.

8 Garkavtseva P.A., Grechukhin A.N. Development of a device for additive shaping by an electric arc with increased accuracy In the collection: Modern instrumental systems, information technologies and innovations. Collection of scientific papers of the XVII International Scientific

and Practical Conference Editorial Board: Razumov M.S. (ed.). Kursk: Southwest State University, 2022. pp. 133-138.

9 Hong S. Byun, Kwan H. Lee. Determination of optimal build direction in rapid prototyping with variable slicing // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2006. № 28. P. 307–313.

10 Hong S. Byun, Kwan H. Lee. Optimal part orientation of rapid prototyping using a genetic algorithm // *Computers & Industrial Engineering*. 2004. P. 426–431.

11 Hur J., Lee K. The development of a CAD environment to determine the preferred build-up direction for layered manufacturing // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 1998. № 14. P. 247–254.

12 Kim J.Y., Lee K., Park J.C. Determination of optimal part orientation in stereolithographic rapid prototyping // Technical Report, Department of Mechanical Design and Production Engineering. Seoul: Seoul National University. 1994.

13 Determining fabrication orientations for rapid prototyping with stereolithography apparatus / P.T. Lan, S.Y. Chou, L.L. Chent, D. Gemmill // *Computer-Aided Design*. 1997. Vol. 29. № 1. P. 53– 62.

14 Improving the accuracy of additive forming methods Innovation, quality and service in engineering and technology/ A.N. Grechukhin, V.V. Kuts, M.S. Razumov and others. 2018. Pp. 128-131

15 Grechukhin A.N., Kuts V.V., Razumov M.S. Control of spatial orientation of robot units in the process of additive forming of products Bulletin of Voronezh state technical University. 2018. 4. Pp. 122-129

16 Grechukhin A.N., Kuts V.V., Razumov M.S. Experimental determination of the cross-section parameters of a single layer in the additive forming products News of Tula state University. Technical science. 2019. 10. Pp. 264-270

17 Grechukhin A.N., Anikutin I.S., Byshkin A.S. Management of space orientation of the end effector of generation of geometry system fiveaxis manufacturing machinery for additive generation of geometry MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 7. Pp. 128-136. DOI 10.1051/mateconf/201822601004

18 Grechukhin A.N., Kuts V.V., Razumov M.S. Ways to reduce the error of additive methods of forming – 2018 MATEC Web of Conferences. Vol. 7. Pp.142-150. DOI 10.1051/mateconf/201822601002

19 Grechukhin A.N., Kuts V.V., Oleshitskiy A.V. Development and Research of Technological Equipment that Implements Dynamic Control of Process of Additive Fabrication of Parts of Complex Spatial Shapes Based on Mechanisms with a Hybrid Layout. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 709(3). 033112. DOI 10.1088/1757-899X/709/3/033112

20 Investigation of the process of additive formation of fusible materials using a low-power solid-state laser/ V.V. Kuts, V.S. Merkulov, A.N. Grechukhin, A.S. Privalov// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. 1029(1). 012010. DOI 10.1088/1757-899X/1029/1/012010

21 Kutz V.V., Grechukhin A.N., Oleshitsky A.V., Privalov A.S., Shcherbakov P.S. ALGORITHM DIVISION OF A VOLUMETRIC MODEL INTO CURVED LAYERS FOR 3D PRINTING//Fundamental and applied problems of engineering and technology. 2021. No. 5 (349). pp. 39-45.

© Щербаков П.С., Куц В.В., Гречухин А.Н., Олещицкий А.В., 2023

DOI: [10.34220/2311-8873-2023-40-47](https://doi.org/10.34220/2311-8873-2023-40-47)



УДК 621.9.047; 621.92

UDC 621.9.047; 621.92

2.5.6 – технология машиностроения

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОЧИСТКИ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

**EXPERIMENTAL STUDIES OF CLEANING WELDING WIRE BY HIGH-VOLTAGE ELECTROCHEMICAL METHOD**

**Болдырев Александр Иванович,**  
д-р техн. наук, профессор кафедры технологии машиностроения, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж.

**Boldyrev Alexander Ivanovich,**  
Dr. of Tech. Sc., Professor of Mechanical Engineering Technology Chair of the Voronezh State Technical University, Voronezh.

**Болдырев Александр Александрович,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры технологии машиностроения, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж.

**Boldyrev Alexander Aleksandrovich,**  
Cand. of Tech. Sc., Associate Professor of Mechanical Engineering Technology Chair of the Voronezh State Technical University, Voronezh.

**Григораш Владимир Васильевич,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры металлических и деревянных конструкций, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж.

**Grigorash Vladimir Vasilyevich,**  
Cand. of Tech. Sc., Associate Professor of Chair of Metal and Wooden Structures of the Voronezh State Technical University, Voronezh.

✉<sup>1</sup> **Перова Алла Владимировна,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры технологии машиностроения, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, e-mail: [pva7@mail.ru](mailto:pva7@mail.ru)

✉<sup>1</sup> **Perova Alla Vladimirovna,**  
Cand. of Tech. Sc., Associate Professor of Mechanical Engineering Technology Chair of the Voronezh State Technical University, Voronezh, e-mail: [pva7@mail.ru](mailto:pva7@mail.ru)

**Падурец Анна Александровна,**  
магистрант кафедры технологии машиностроения, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж.

**Padurets Anna Alexandrovna,**  
Master's student of the Mechanical Engineering Technology Chair of the Voronezh State Technical University, Voronezh.

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований высоковольтного электрохимического катодного процесса очистки сварочной проволоки от окалины, ржавчины и других загрязнений, так как от ее состояния существенным образом зависит качество шва. Описана сущность высоковольтной электрохимической очистки, по которой на обрабатываемую поверхность заготовки электролит подается узким потоком из отверстий насадки

**Annotation.** This article presents the results of studies of the high-voltage electrochemical cathodic process of cleaning the welding wire from scale, rust and other contaminants, since the quality of the weld significantly depends on its condition. The essence of high-voltage electrochemical cleaning is described, according to which electrolyte is supplied to the treated surface of the workpiece by a narrow stream from the holes of the sprayer nozzle. The description of the exper-



спрейера. Приведено описание экспериментов. Отмечается влияние на стабильный ход катодного процесса и качество очистки электрогидравлических и технологических параметров процесса. Установлено отсутствие наводороживания сварочной проволоки, объясняющееся спецификой фазовых превращений в прикатодной зоне. Приводятся рациональные режимы очистки сварочной проволоки.

iments is given. The authors note the influence on the stable course of the cathodic process and the quality of cleaning of the electro-hydraulic and technological parameters of the process. They determined the absence of the welding wire hydrogenation, which is explained by the specificity of phase transformations in the near-cathode zone. Rational regimes for cleaning the welding wire are given.

**Ключевые слова:** СВАРОЧНАЯ ПРОВОЛОКА, ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ, СПРЕЙЕР, ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД.

**Keywords:** WELDING WIRE, SURFACE CLEANING, SPRAYER, HIGH-VOLTAGE ELECTROCHEMICAL METHOD.

<sup>1</sup> Автор для ведения переписки

## 1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Для обеспечения процессов сварки высокого качества при изготовлении ответственных изделий ракетно-космической техники необходимо, чтобы параметры сварочной проволоки соответствовали [1]. Поверхность проволоки должна быть чистой и гладкой, без трещин, окалины, ржавчины, масла и других загрязнений, но допускаются риски (в том числе затянутые) и отдельные вмятины, глубина которых не должна превышать допуска по диаметру проволоки. Несмотря на то, что проволока в сварочном процессе является расходным материалом, от ее состояния существенным образом зависит качество шва.

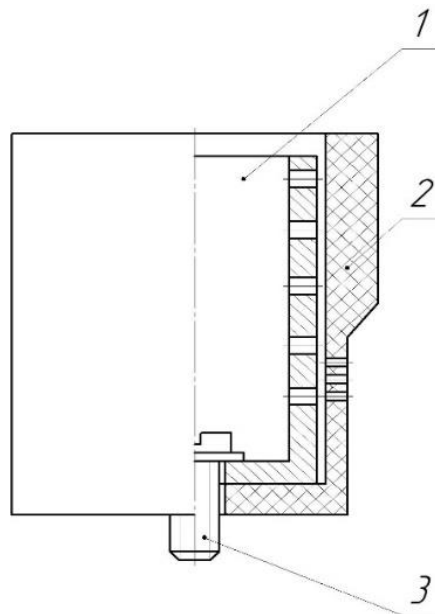
В работах [2-6] рассмотрен ряд традиционных способов очистки (электрогидравлический, пароводоструйный, гидромеханический, в парах растворителей, щелочных расплавах, псевдооживленной среде и др.) наряду с относительно новыми способами (иглофрезерование, самоизмельчение, различные виды виброабразивной обработки, ультразвуковая активация и др.) и приведены сведения об их технологических возможностях. Однако большинство этих способов при очистке сварочной проволоки являются непроизводительными, требуют применения весьма дорогостоящих средств технологического оснащения и трудовых затрат, соблюдения особых мер техники безопасности обслуживающим персоналом. Поэтому поиск новых методов и способов очистки поверхностей сварочной проволоки является весьма актуальной задачей.

## 2 Материалы и методы

Для очистки поверхности сварочной проволоки предложен высоковольтный электрохимический метод в протоке электролита. При использовании данного метода на обрабатываемую поверхность одновременно воздействуют электрохимические, химические и тепловые факторы [7]. Сущность высоковольтной электрохимической очистки состоит в том, на обрабатываемую поверхность заготовки электролит подается узким потоком из отверстий насадки спрейера (разбрызгивающего устройства) (рис. 1) [8]. К металлической части спрейера подводится положительное напряжение, а обрабатываемая заготовка подсоединяется к отрицательному полюсу источника постоянного тока (рис. 2).

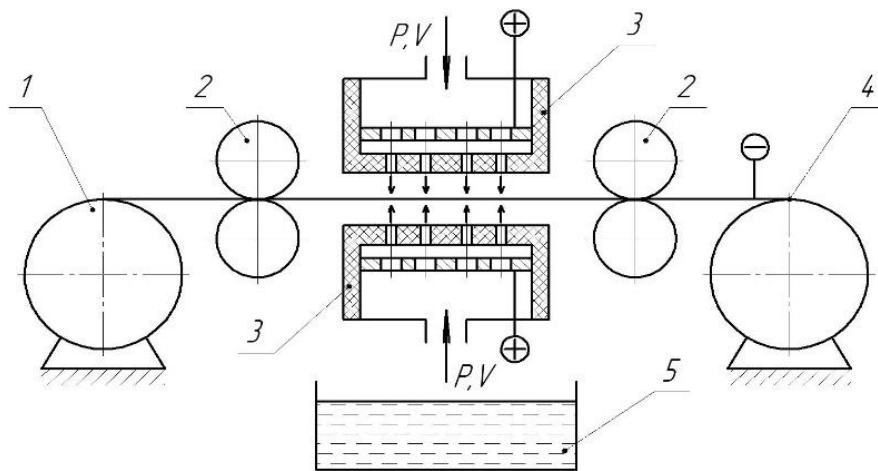
Предлагаемый метод позволяет обеспечить при напряжении на электродах ванны 200 В и токе 2,6 А плотность тока на катоде 26 А/см<sup>2</sup> и удельную поверхностную мощность тока на катоде 5,4 кВт/см<sup>2</sup> [9, 10]. Исследования процесса электрохимической очистки про-

волокни проводились на экспериментальной установке, спроектированной и изготовленной на АО «Конструкторское бюро химавтоматики» (г. Воронеж).



1 – металлический анод; 2 – насадка;  
3 – болт, соединяющий металлический анод с насадкой

Рисунок 1 – Общий вид спрейера



1 – сматывающий барабан; 2 – тянущие и направляющие ролики; 3 – спрейер;  
4 – наматывающий барабан; 5 – ванна для сбора и хранения электролита

Рисунок 2 – Принципиальная схема очистки проволоки

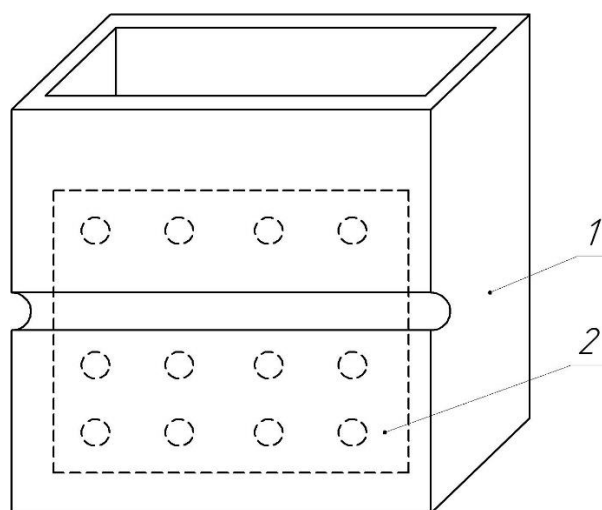
В качестве электролита использовался 5-15 % водный раствор кальцинированной соды [11-14]. Температура электролита составляла 18-24 °С. Образцами являлись: проволоки диаметром 1,2-1,6 мм и прутки диаметром 1,2-2 мм. Напряжение и ток фиксировались с точностью до 1,5 В и 1,5 А, соответственно. Диаметр отверстий насадки спрейера составлял 1-2 мм, а расстояние между отверстиями – 1,2 мм. Качество очистки определялось путем срав-

нения (визуально и под микроскопом) обработанной поверхности с поверхностью эталонного образца, который очищался механически и затем протравливался.

### 3 Результаты исследований

Проведенные исследования показали, что стабильность процесса и качество очистки зависят от конструктивных особенностей спрейера. Основным условием работы нормальной работы спрейера является постоянство размеров насадки. При увеличении размеров отверстий насадки плотность тока падает, время очистки увеличивается. Материал насадок должен обладать высоким электросопротивлением. Достаточной прочностью и термостойкостью. Таким требованиям отвечают керамика, фторопласт, поливинилхлорид и другие материалы. Однако спрейера, имеющие фторопластовые насадки, не обеспечивают стабильности катодного процесса из-за уменьшения диаметра отверстий в результате нагрева фторопласта [15]. Керамические и поливинилхлоридные насадки обеспечивают стабильный ход катодного процесса и качественную очистку.

В результате исследований была разработана оптимальная конструкция спрейера: с насадкой прямоугольной формы (рис. 3).



1 – насадка; 2 – металлический анод

Рисунок 3 – Оптимальная схема конструкции спрейера

При напряжении 190 В, токе 5-6 А, температуре электролита 22 °С расходе электролита 133,3 см<sup>3</sup>/мин поверхность проволоки полностью освобождалась от окислов и становилась блестящей. Скорость перемещения проволоки составляла 3 м/мин. Было отмечено, что окислы удаляются быстрее с той поверхности проволоки, которая обращена к отверстиям насадки. В связи с этим была предложена спрейерная двусторонняя очистка проволоки (рис. 2), что позволило равномерно очищать проволоку по всей поверхности и увеличивать допустимую скорость перемещения до 25-30 м/мин.

При малой скорости перемещения проволоки на отдельных ее участках остаются черные окисные пленки. Такое явление объясняется осаждением катионов металла и окислов на катоде в результате конвекции [16, 17]. На больших скоростях перемещения до 50 м/мин необходимо увеличивать число циклов, что приводит к увеличению скорости обработки.

Существенное влияние на интенсификацию процесса очистки оказывают электрические режимы [18, 19]. Это связано с условиями формирования газопаровой фазы в прикатодной зоне, при которой происходит качественная очистка. При низких напряжениях

на электродах не образуется газопаровая фаза и нет условий для возникновения разрядов, интенсифицирующих процесс удаления окислов. При напряжениях выше 210 В проволока сильно нагревается и перегорает. При напряжениях 180-200 В процесс стабилен, окислы удаляются интенсивно (рис. 4). При таких напряжениях у катода создаются оптимальные условия для образования газопаровой фазы и выделяется максимум энергии [20].

Исследования процесса очистки с использованием переменного тока показали, что при напряжении 100-200 В у катода возникали вспышки, сопровождаемые звуковым эффектом. Это явление, по-видимому, объясняется образованием гремучей смеси. Стабильность процесса нарушалась и удалялся только рыхлый слой ржавчины. Поэтому использование переменного тока для очистки при повышенных напряжениях нецелесообразно.

На стабильный ход катодного процесса и качество очистки оказывают влияние скорость течения, расход, состав, концентрация и температура электролита. Стабильной работа спрейера будет тогда, когда электролит вытекает из отверстий насадки ламинарным потоком, т.е. непрерывными струями. Расход электролита должен соответствовать напряжению на электродах. С увеличением напряжения необходимо увеличивать расход электролита и наоборот. Это позволяет обеспечивать условия образования периодического контакта жидкой и газопаровой фаз с катодом, т.е. условия стабильного хода процесса.

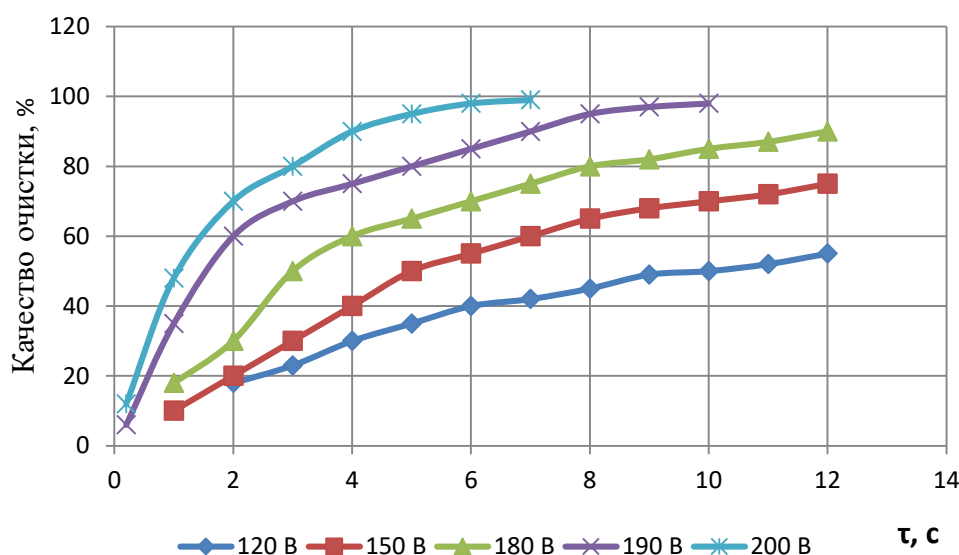


Рисунок 4 – Зависимость качества очистки проволоки от напряжения и времени обработки (электролита – 12 %  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 88\% \text{H}_2\text{O}$ , температура – 22°C)

Увеличение расхода электролита приводит к увеличению силы тока, и процесс протекает не стабильно (на рис. 5 зоны нестабильного протекания процесса выделены штриховкой), т.к. мощности тока недостаточно для формирования сплошной газопаровой фазы в прикатодной зоне. При недостаточном расходе электролит полностью испаряется в зазоре. В этих случаях нет условий для обеспечения стабильности процесса и возникновения разрядов. Удаление окислов осуществляется медленно.

На качество очистки влияют зазоры между насадкой и обрабатываемой поверхностью, внутренней стенкой насадки и металлическим анодом. Увеличение зазоров приводит к увеличению сопротивления электролита, уменьшению плотности и мощности тока, вследствие чего катодный процесс протекает нестабильно и окислы не удаляются. При отсутствии зазора между проволокой и насадкой процесс протекает стабильно и наблюдается полное удаление окислов. При зазорах размером от 2 мм и больше процесс протекает не

стабильно, а при зазорах размером 0,5-1 мм – стабильно. Экспериментально установлено, что зазор между внутренней стенкой насадки и анодом должен составлять 3,5-3 мм.

Электрохимический катодный процесс сопровождается выделением водорода на катоде. Поэтому очищенную сварочную проволоку исследовали на предмет наводороживания. Химическими, механическими и спектроскопическими исследованиями установлено отсутствие наводороживания сварочной проволоки, что можно объяснить спецификой фазовых превращений в прикатодной зоне.

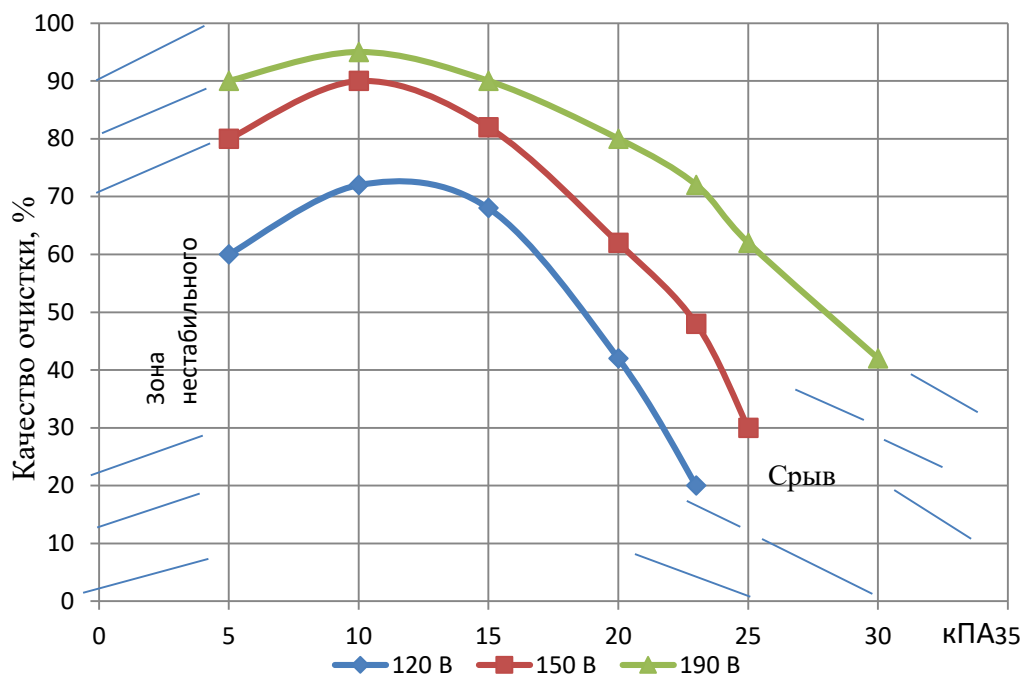


Рисунок 5 – Зависимость качества очистки от давления электролита (электролита – 12 %  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +88 %  $\text{H}_2\text{O}$ , температура – 22°C)

Проведенные исследования показали эффективность применения высоковольтного электрохимического катодного метода очистки сварочной проволоки и позволили установить рациональные режимы очистки, приведенные в табл.

Таблица – Технологические режимы электрохимической очистки проволоки

Технологический параметр	Значение режимного параметра
Технологический ток, А	4, 5-6
Рабочее напряжение, В	180-200
Зазор между насадкой и обрабатываемой поверхностью, мм	0,5-1
Зазор между внутренней стенкой насадки и металлическим анодом, мм	2,5-3
Электролит (водный раствор кальцинированной соды), %	6
Температура электролита, °С	18-24
Скорость перемещения проволоки, м/с	0,4

#### 4 Обсуждение и заключение

В работе были проанализированы основные способы очистки сварочной проволоки, используемые при сварке особо ответственных конструкций в аэрокосмической отрасли и установ-

лено, что наиболее перспективным может стать высоковольтный электрохимический способ, отличающийся от традиционного качеством очистки при высокой производительности процесса.

В результате исследований было разработано приспособление для очистки проволоки и определены граничные условия режимам обработки (табл.). Опыты показали, что применение переменного тока свыше 100 В приводило к возникновению всплешек и ухудшению качества очистки. Анализ различными способами возможного наводороживания поверхности проволоки не подтвердился. Это можно объяснить фазовыми превращениями, протекающими в прикатодной области. Для обеспечения стабильности процесса электролит должен истекать из спрейера непрерывным ламинарным потоком.

Научной новизной данной работы является установление рациональных режимом обработки (электрохимических факторов) на интенсивность и качество процесса очистки поверхности проволоки.

Проведенные исследования показали эффективность применения высоковольтного электрохимического катодного метода очистки сварочной проволоки. Процесс является достаточно производительным, не требует применения весьма дорогостоящих средств технологического оснащения и трудовых затрат, позволяет производить механизацию и автоматизацию очистки.

### Список литературы

- 1 ГОСТ 2246-70. Проволока стальная сварочная. Технические условия. М.: Стандартинформ, – 2008. – 17 с.
- 2 Горшков Б.Т., Конилов Г.К., Татин И.А. Эффективность способов зачистки стали. – М.: Металлургия, – 1979. – 224 с.
- 3 Гарбер М.И. Прогрессивные методы подготовки поверхности // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. – 1980. – №2. – С. 129-137.
- 4 Остановский А.А. Разработка прогрессивного способа очистки сварочной проволоки на основе принципа самоизмельчения // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2021. – №2. – С. 46-53.
- 5 Karasew B., Altynbaiyev A. Pulse Current ECM Facilities // Proc. Intern. Symp. Electromach. (ISEM-X). Magdeburg. – 2002. – P. 430-437.
- 6 Wollenberg G., Schulze H., Lauter M. Process Energy Supply for Unconventional Machining // Proc. Intern. Symp. Electromachining (ISEM-XIII). – Spain, – 2011. – P. 220-232.
- 7 Седыкин Ф.В., Кондратьев В.А., Анненков А.В. Динамика электрохимического катодного процесса удаления окалины с термически обработанных поверхностей в потоке электролита // Финишная электрохимическая обработка поверхностей деталей. – Тула. – 1972. – С. 91-96.
- 8 Пажи Д.Г., Галустов В.Г. Основы техники распыления жидкости. М.: Химия, 1984. 256 с.
- 9 Практикум по физической химии / Ю.Н. Ушакова [и др.]. – Киров: ВятГУ, – 2011. – 87 с.
- 10 Ruszaj A., Czekaj I., Chuchro M. ECM with short interelectrode voltage pulses // Proc. Intern. Symp. Electromach. (ISEM-XII). – Spain. – 2008. – P. 334-342.
- 11 Дамаскин Б.Б., Пертий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия. – М.: Химия, – 2001. – 624 с.
- 12 Винокурова И.М. Ермилов А.В., Дейнега А.А. Особенности выбора электролита для размерной электрохимической обработки металлов // Современные исследования в области технических и естественных наук: сб. тр. конф. – Белгород. – 2017. – С. 178-184.
- 13 Саушкин Б.П. Выбор и применение электролитов для электрохимической обработки металлов. – М.: ВНИИТЭМП, – 1992. – 68 с.
- 14 Atanasyants A., Saushkin B. Problems of ECM of metals in non traditional electrolytes // Proc. Intern. Symp. Electromach. (ISEM-X). – Magdeburg. – 2002. – P. 438-450.
- 15 Паншин Ю.А., Малкевич С.Г., Дунаевская Ц.С. Фторопласты. Л.: Химия, 1978. 236 с.
- 16 Справочник химика. Т. 3. / под ред. Б.П. Никольского. – М.: Химия, 2009. – 1008 с.
- 17 Сопряженная конвекция раствора у поверхности ионообменных мембран при интенсивных токовых режимах / Н.Д. Письменская [и др.] // Электрохимия. – 2007. – № 3. – С. 325-345.

18 Сундуков В.К. Технологические основы высокоэффективного электролитического формования: автореф. на соиск. ученой степ. докт. техн. наук: 05.03.01 – процессы механической и физико-технической обработки, станки и инструмент. – Тула, – 1998. – 38 с.

19 Rajurkar K., Zhu D., McGeough J. New Developments in ECM // Annals of the CIRP. – 2019. – V. 48/2. – P. 1-13.

20 Шингереева Б.А. Метод удаления и выявления окислительных дефектов // Вестник ДГТУ. Технические науки. – 2016. – № 2. – С. 62-64.

### References

1 GOST 2246-70. Welding steel wire. Technical specifications. M.: Standartinform, - 2008. – 17 p.

2 Gorshkov B.T., Konikov G.K., Tatin I.A. Efficiency of steel stripping methods. – M. : Metallurgy, - 1979. – 224 p.

3 Garber M.I. Progressive methods of surface preparation // Journal of the D.I. Mendeleev All-Union Chemical Society. – 1980. – No.2. – pp. 129-137.

4 Stopsy A.A. Development of a progressive method for cleaning welding wire based on the principle of self-grinding // News of universities. The North Caucasus region. Technical sciences. – 2021. – No. 2. – pp. 46-53.

5 Karasew B., Altynbaiyv A. Pulse Current ECM Facilities // Proc. Intern. Symp. Electromach. (ISEM-X). – Magdeburg. – 2002. – P. 430-437.

6 Wollenberg G., Schulze H., Lauter M. Process Energy Supply for Unconventional Machining // Proc. Intern. Symp. Electromachining (ISEM-XIII). – Spain, – 2011. – P. 220-232.

7 Sedykin F.V., Kondratiev V.A., Annenkov A.V. Dynamics of the electrochemical cathode process of scale removal from thermally treated surfaces in the electrolyte flow // Finishing electrochemical surface treatment of parts. – Tula. – 1972. – pp. 91-96.

8 Pages D.G., Galustov V.G. Fundamentals of liquid spraying technique. M.: Chemistry, 1984. 256 p.

9 Workshop on physical chemistry / Yu.N. Ushakova [et al.]. – Kirov: VyatGU, – 2011. – 87 p.

10 Ruszaj A., Czekaj I., Chuchro M. ECM with short interelectrode voltage pulses // Proc. Intern. Symp. Electromach. (ISEM-XII). – Spain. – 2008. – P. 334-342.

11 Damaskin B.B., Pertiy O.A., Cirlina G.A. Electrochemistry. – M. : Chemistry, – 2001. – 624 p.

12 Vinokurova I.M., Ermilov A.V., Deynega A.A. Features of the choice of electrolyte for dimensional electrochemical processing of metals // Modern research in the field of technical and natural sciences: sat. tr. conf.. – Belgorod. – 2017. – pp. 178-184.

13 Saushkin B.P. Selection and application of electrolytes for electrochemical processing of metals. – M. : VNIITEMR, - 1992. – 68 p.

14 Atanasyants A., Saushkin B. Problems of ECM of metals in non traditional electrolytes // Proc. Intern. Symp. Electromach. (ISEM-X). – Magdeburg. - 2002. – P. 438-450.

15 Panshin Yu.A., Malkevich S.G., Dunaevskaya Ts.S. Fluoroplasts. L.: Chemistry, 1978. 236 p.

16 Handbook of chemist. Vol. 3. / edited by B.P. Nikolsky. – M. : Chemistry, 2009. – 1008 p.

17 Conjugate convection of a solution at the surface of ion-exchange membranes under intense current conditions / N.D. Pisevskaya [et al.] // Electrochemistry. - 2007. – No. 3. – pp. 325-345.

18 Sundukov V.K. Technological foundations of high-efficiency electrolytic molding: abstract. on the job. scientific step. doct. technical sciences: 05.03.01 – processes of mechanical and physical-technical processing, machines and tools. – Tula, - 1998. – 38 p.

19 Rajurkar K., Zhu D., McGeough J. New Developments in ECM // Annals of the CIRP. – 2019. – V. 48/2. – P. 1-13.

20 Shingereeva B.A. Method of removal and detection of oxidative defects // Bulletin of DSTU. Technical sciences. – 2016. – № 2. S. 62-64.

DOI: 10.34220/2311-8873-2023-48-55



УДК 656.13

UDC 656.13

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

**АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ПОСТАВОК ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВАМ С УЧЕТОМ ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССОВ ВОСПОЛНЕНИЯ ИХ РЕСУРСА**

**ALGORITHM FOR OPTIMIZING THE SUPPLY OF SPARE PARTS TO VEHICLES WITH INFORMATION AND LOGISTICS SUPPORT OF THE PROCESSES OF REPLENISHING THEIR RESOURCE**

**Сафиуллин Равиль Нуруллович,**  
профессор кафедры ТТПиМ, д.т.н., Санкт-Петербургский Горный университет, г. Санкт-Петербург.

**Safiullin Ravil Nurullovich,**  
Professor of the Department of TTPiM, Doctor of Technical Sciences, St. Petersburg Mining University, Saint Petersburg.

**Шаммазов Ильдар Айратович,**  
профессор кафедры ТХНГ, д.т.н., Санкт-Петербургский Горный университет, г. Санкт-Петербург.

**Shammazov Ildar Airatovich,**  
Associate Professor of the Department of THNG, Doctor of Technical Sciences, St. Petersburg Mining University, Saint Petersburg.

**Сафиуллин Руслан Равиллович,**  
доцент кафедры ТТПиМ, к.т.н., Санкт-Петербургский Горный университет, г. Санкт-Петербург.

**Safiullin Ruslan Ravilovich,**  
Associate Professor of the Department of TTPiM, Ph.D., St. Petersburg Mining University, Saint Petersburg.

✉<sup>1</sup> **Сорокин Кирилл Владиславович,**  
студент, Санкт-Петербургский Горный университет, г. Санкт-Петербург, e-mail: [kiros\\_00@bk.ru](mailto:kiros_00@bk.ru)

✉<sup>1</sup> **Sorokin Kirill Vladislavovich,**  
student, St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, e-mail: [kiros\\_00@bk.ru](mailto:kiros_00@bk.ru)

**Полуэктов Виктор Алексеевич,**  
студент, Санкт-Петербургский Горный университет, г. Санкт-Петербург.

**Poluektov Viktor Alekseevich,**  
student, St. Petersburg Mining University, St. Petersburg.

**Аннотация.** Определена необходимость сформировать статистические данные диагностических параметров транспортных средств в процессе их эксплуатации. Разработан алгоритм оптимизации поставок запасных частей с учетом информационно-логистической поддержки процесса восполнения их ресурса и сформирован адаптивно-управляемый подход в виде модели процесса «замещения» номенкла-

**Annotation.** The necessity to generate statistical data of diagnostic parameters of vehicles during their operation is determined. An algorithm for optimizing the supply of spare parts has been developed, taking into account the information and logistics support for the process of replenishing their resource, and an adaptive-controlled approach has been formed in the form of a model of the process of "replacing" the range of spare parts in vehicles. A system-analytical approach to



туры запасных частей транспортных средствах. Определен системно-аналитический подход доставки запасных частей, с учетом ступенчатого изменения их стоимости. Разработанные теоретические положения позволяют существенно снизить трудоемкость и время нахождения в простое транспортного средства.

the delivery of spare parts is determined, taking into account the stepwise change in their cost. The developed theoretical provisions will significantly reduce the complexity and time spent in a vehicle idle time.

**Ключевые слова:** АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ, МЕТОД УДАЛЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИСТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА, ПОСТАВКИ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА.

**Keywords:** OPTIMIZATION ALGORITHM, REMOTE DIAGNOSTIC METHOD, INFORMATION AND LOGISTICS SUPPORT, SPARE PARTS SUPPLY, MAINTENANCE, VEHICLES.

<sup>1</sup> Автор для ведения переписки

## 1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Важнейшей задачей, решаемой на государственном уровне, является развитие интеллектуальных транспортных систем, которые обеспечивают: рост эффективности использования дорожной сети; создание механизма управления транспортной системой в режиме реального времени и могут быть использованы для удаленного контроля технического состояния транспортного средства [1, 2]. Изменение коэффициента технической готовности, оказывает значительное влияние на развитие транспортной системы, одним из способов увеличения данного показателя, является заблаговременная поставка запасных частей для технического обслуживания и ремонта [3].

В связи с постоянным усложнением конструкции, появлением новых высокотехнологичных систем управления транспортными средствами, а также с увеличением объема транспортной работы, необходимо разработать новые подходы к контролю технического состояния транспортных средств посредством удаленного диагностирования с целью заблаговременного обеспечения поставки запасных частей и планирования ремонтных работ [4, 5].

## 2 Материалы и методы

В настоящий период времени, при наличии проблем поставок стандартных запасных частей на транспортные средства существует необходимость замены на аналогичные с учетом требований, предъявляемых к ним. Разработанная структурная модель процесса «заменения» номенклатуры запасных частей на транспортных средствах позволяет рассмотреть данную последовательность с учетом факторов, обеспечивающую информационно-логистическую поддержку процессов восполнения их ресурса (рисунок 1).

На первом и последующих этапах замены номенклатуры замены запасных частей на транспортных средствах осуществляется анализ состояния вопроса, определение номенклатуры запасных частей, замена детали на новую и при необходимости разработка, изготовления изделия с последующим его внедрением.

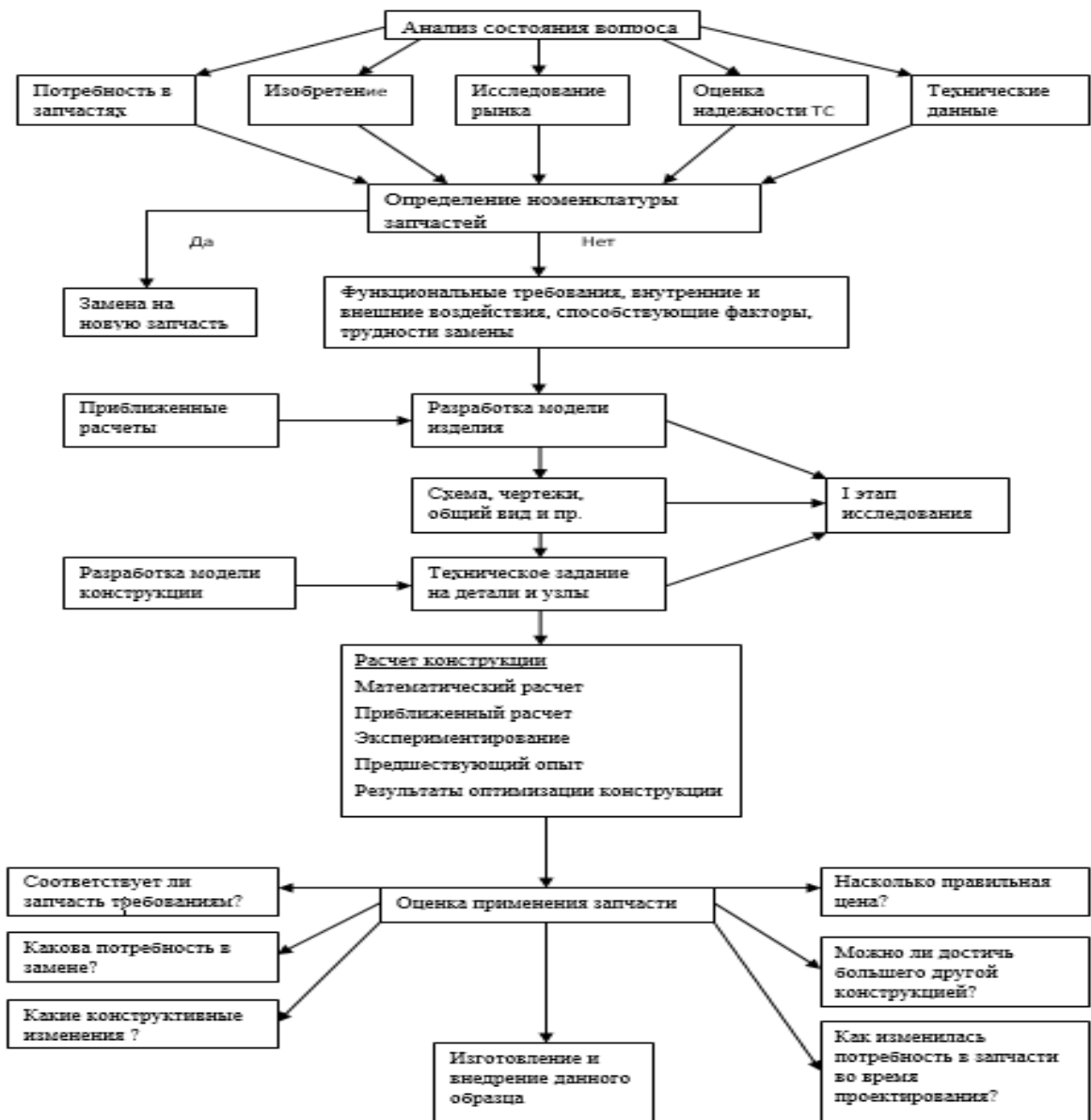


Рисунок 1 – Модель процесса «замещения» номенклатуры запасных частей на транспортных средствах

### 3 Результаты исследований

На основании результатов исследования процесса совершенствования поставок запасных частей автотранспортных предприятий, с учетом их «замещения» был разработан алгоритм оптимизации поставок запасных частей с учетом информационно-логистической поддержки процесса восполнения их ресурса, представленный на рисунке 2.

Алгоритм предполагает оптимизацию процесса поставок запасных частей на каждом этапе на основе системного подхода с учетом разработанных экономических критерий и результатов исследований тенденций развития науки и техники, данных удаленной диагностики, сбора информации по рынкам поставок запасных частей (ЗЧ), на основании которого производится предварительный выбор и оценка ЗЧ, сравнение и выбор конкурентов, поставляющих запасные части [6]. Расчет удельных затрат, конкурентноспособных аналогов и других коэффициентов, позволяет осуществить их сравнение и выбор оптимального варианта поставки запасных частей.

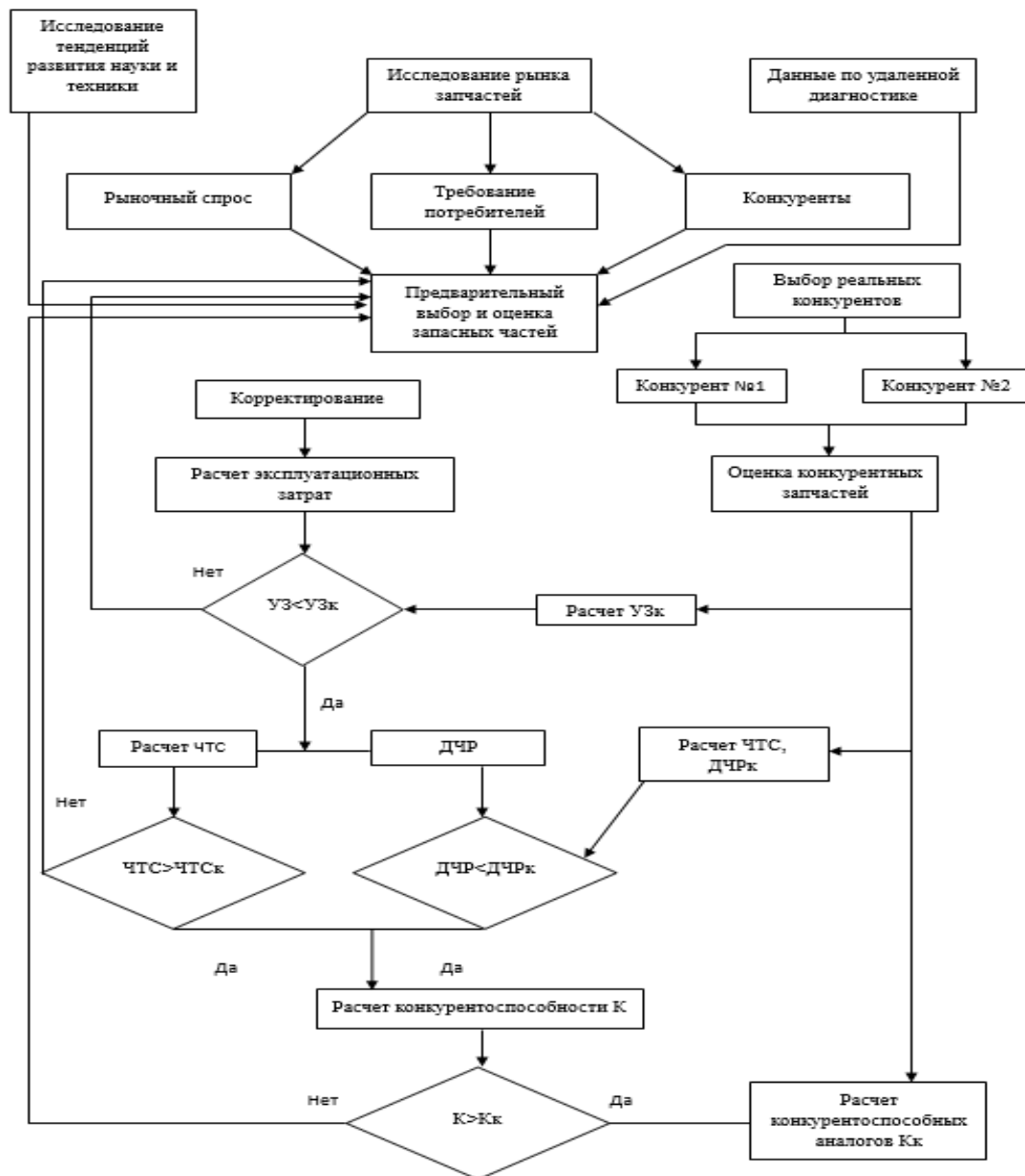


Рисунок 2 – Алгоритм оптимизации поставок запасных частей с учетом информационно-логистической поддержки процесса выполнения их ресурса

Для оптимизации поставок запасных частей транспортных средств с учетом оценки их потребности был разработан системно-аналитический подход доставки запасных частей, с учетом ступенчатого изменения их стоимости. Порядок расчета:

Исходные данные:

$I^*$  – множество заказчиков (потребителей, эксплуатантов) системы поставок запасных частей (ПЗЧ) [7];

$K^*$  – количество заказчиков в системе (ПЗЧ);

$I$  – множество заказчиков, отправивших заявки на поставку ресурсов;

$K$  – количество заказчиков, отправивших заявки на поставку ресурсов;

$\Gamma^*$  – множество поставщиков (складов, производителей, посредников) системы (ПЗЧ);

$S^*$  – количество поставщиков в системе (ПЗЧ);

$\Gamma$  – множество поставщиков, которые осуществляют поставку множеству заказчиков И;

$S$  – количество поставщиков, осуществляющих поставку по заявкам множества;

$\mathcal{J}$  – множество типов материальных ресурсов, которые используются заказчиками в процессе эксплуатации;

$\Gamma$  – количество типов материальных ресурсов, которые используются заказчиками в процессе эксплуатации;

$\mathcal{J}$  – множество типов материальных ресурсов, поставляемых по заявкам;

$I$  – количество типов материальных ресурсов, поставляемых по заявкам;

$\mathcal{L}$  – множество типов материальных ресурсов, поставкой которых занимается множество поставщиков `;

$\mathcal{L}$  – множество типов материальных ресурсов, имеющихся у поставщиков в данный момент;

$A$  – множество количеств материальных ресурсов всех типов, имеющихся у множества поставщиков  $\Gamma$ .

$$A = \sum_{i=1}^I \sum_{s=1}^S a_{is}, \quad (1)$$

где  $a_{is}$  – материальный ресурс;  $i$  – номер материального ресурса;  $s$  – номер поставщика из множества  $\Gamma$ ;

$B$  – множество количеств ресурсов разных типов:

$$B = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K b_{ik}, \quad (2)$$

где  $b_{ik}$  – количество ресурса;  $k$  – порядковый номер заказчика из множества И;

$\mathcal{M}$  – множество маршрутов доставки материальных ресурсов всех типов, поставляемых поставщиком заказчику;

$M$  – количество маршрутов доставки материальных ресурсов;

$m$  – номер маршрута,  $m = [1; M]$ . Каждый маршрут имеет пункт отправления (поставщик  $s$ ) и пункт назначения (заказчик  $k$ ). Маршрут состоит из участков (как минимум одного).

Маршруты определяются с использованием алгоритма Флойда в зависимости от срочности заявок (СРОЧНО или НЕСРОЧНО) на основе данных об удельной стоимости, продолжительности доставок и количестве доставляемого груза;

$\mathcal{P}$  – множество участков доставки материальных ресурсов;

$P$  – количество участков доставки;

$p$  – номер участка доставки,  $p=[1;P]$ . Участок непосредственно соединяет два пункта перевозки (двух поставщиков или поставщика с заказчиком).

Участок маршрута характеризуется стоимостью доставки, пунктом отправления, пунктом назначения, а также временем;

$\mathcal{D}$  – множество диапазонов количества доставляемого ресурса;

$L$  – количество диапазонов количества доставляемого ресурса;

$l$  – номер конкретного диапазона  $D_l$  из множества  $\mathcal{D}$ ,  $l=[1;L]$ .

$X$  – множество количеств поставляемых материальных ресурсов всех типов:

$$X = \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K x_{iskl}, \quad (3)$$

где  $x_{iskl}$  – количество ресурса;  $C$  – сумма поставки всех типов ресурсов, выбранному заказчику, единым маршрутом от одного поставщика:

$$C = \sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K c_{skl}, \quad (4)$$

где  $c_{skl}$  – стоимость доставки по маршруту на единицу груза руб/кг;  $s$  – номер поставщика;  $k$  – номер заказчика;  $l$  – диапазон, в котором находится количество доставляемого груза;  $D$  – множество продолжительностей доставки материальных ресурсов всех типов, поставляемых определенному заказчику каким-либо поставщиком по выбранному маршруту:

$$D = \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K d_{iskl} , \quad (5)$$

где  $d_{iskl}$  – время доставки груза.

Функция, которая учитывает уменьшение стоимости поставки ( $W$ ):

$$W = \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K c_{iskl}^{\text{пост}} x_{iskl} \rightarrow \min , \quad (6)$$

где  $c_{iskl}^{\text{пост}}$  – сумма поставки единицы ресурса, руб.;  
 $x_{iskl}$  – количество материального ресурса  $i$ -го типа, поставляемого  $s$ -м поставщиком  $k$ -му заказчику по расценкам, соответствующим диапазону  $l$ .

Вводимые ограничения:

1. Максимально возможный уровень исправности:

$$Y_{\text{испр}} \rightarrow \max , \quad (7)$$

где  $Y_{\text{испр}}$  – уровень исправности автотранспортных средств.

Отношение общего числа предприятия с достаточным уровнем исправности, к общему количеству предприятия:

$$Y_{\text{испр}} = \frac{N_{\text{аб}}^{\text{тп}}}{N_{\text{аб}}} , \quad (8)$$

где  $N_{\text{аб}}^{\text{тп}}$  – число предприятия, отправивших заявки на поставку запасных частей, с требуемым уровнем исправности техники;

$N_{\text{аб}}$  – общее число предприятия от которых поступили заявки на поставку запасных частей.

2. Общая сумма частей должна быть больше запасов, находящихся на складе:

$$\sum_{k=1}^K b_{ik} \leq \sum_{s=1}^S a_{is} , \quad (9)$$

где  $b_{ik}$  – количество запасных частей, необходимых для  $k$ -го заказчика;

$a_{is}$  – количество запасных частей, находящихся у  $s$ -го поставщика.

3. Общее количество запасных частей не должно быть больше количества запасов на складе у поставщика:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K x_{iskl} \leq a_{is} , \quad (10)$$

где  $x_{iskl}$  – количество материального ресурса  $i$ -го типа, поставляемого  $s$ -м поставщиком  $k$ -му заказчику по расценкам, соответствующим диапазону  $l$ .

4. Необходимо максимально полно удовлетворить заявки заказчиков по каждому поставляемому типу материальных ресурсов [8, 9]:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^S x_{iskl} = b_{ik} \quad (11)$$

В результате был сформирована последовательность расчета основных параметров доставки запасных частей, с учетом ступенчатого изменения их стоимости.

#### 4 Обсуждение и заключение

Таким образом, проанализированы основные направления по сокращению времени нахождения транспортного средства в ремонте из-за задержек в поставках запасных частей. Определена необходимость сформировать статистические данные диагностических параметров транспортных средств в процессе их эксплуатации [10]. Разработан алгоритм оптимизации поставок запасных частей с учетом информационно-логистической поддержки процесса выполнения их ресурса и сформирован адаптивно-управляемый подход в виде модели процесса «замещения» номенклатуры запасных частей транспортных средства. Определен системно-аналитический подход доставки запасных частей, с учетом ступенчатого изменения их стоимости. Разработанные теоретические положения позволят существенно снизить трудоемкость и время нахождения в простое транспортного средства.

#### Список литературы

- 1 Сафиуллин, Р.Н. Моделирование и оптимизация процессов перевозки тяжеловесных грузов на основе автоматизации систем мониторинга движения автотранспорта. / Сафиуллин, Р.Н., Резниченко В.В., Горлатов Д.В. // ИОР: Науки о Земле и окружающей среде (EES). – 2019 – № 378 (2019). – 012069 – DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012069.
- 2 Комаров В.В., Гараган С.А. Архитектура и стандартизация телематических и интеллектуальных транспортных систем. Зарубежный опыт и отечественная практика / М.: НТБ «Энергия» 2012. – 352 с.
- 3 Беликова Д.Д., Морозов Е.В., Хисамутдинова Е.Л. Оптимальный контроль силовых агрегатов горных машин в различных условиях эксплуатации с помощью системы контроля качества моторных масел МІАВ. Горный информационно-аналитический вестник, – 2021, (6). – с. 95-103.
- 4 Комаров Ю.Я., Федотов В.Н., Антропов Д.С. Анализ технического состояния автомобилей. // Вестник транспорта. 2008. – № 8. – с. 35-38.
- 5 Сафиуллин Р.Н., Интеллектуальные бортовые системы на автомобильном транспорте: монография. – М. – Берлин: Директ – Медиа. 2017. – 355 с.
- 6 Бруно Далла Кьяра. ИТС на автомобильном транспорте. Технологии, методы и практика применения / Тех.ред. А.Э.Горев – М., 2014г – 532с.
- 7 Марусин А.В., Аблязов Т.Х. Перспективы цифровой трансформации логистики. // Вестник Алтайской академии экономики и права №4–2 (2019) С.240-244.
- 8 Сафиуллин Р.Н., Автоматизированные системы управления дорожным движением. Монография. Под редакцией Р.Н. Сафиуллина. – Св. СПб: Лань, – 2019. – 544 с.
- 9 Кисуленко Б. В., Автоматизация управления автомобилем: тенденции развития и условия внедрения // Сборник трудов Международной академии транспорта, №17, – М.: 2014. – с. 80-88.
- 10 Кацуба Ю.Н., Григорьева Л.В. Интеллектуальная система контроля технического состояния автотранспортных средств// Сборник трудов II международной научно-практической конференции «Транспортное планирование и моделирование» – 2017г. – С.158.

### References

- 1 Safiullin R.N., Reznichenko V.V., Gorlatov D.V. Modeling and optimization of heavy cargo processes based on automation of vehicle traffic monitoring systems. // IOP: Earth and Environmental Sciences (EES). – 2019 - No. 378 (2019). – 012069 – DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012069.
- 2 Komarov V.V., Garagan S.A. Architecture and standardization of telematics and intelligent transport systems. Foreign experience and domestic practice / М.: NTB "Energia" – 2012. – 352p.
- 3 Belikova D.D., Morozov E.V., Khisamutdinova E.L. Optimum control of mining machine powertrains under various operating conditions with the MIAB engine oil quality control system. Mining Information and Analytical Bulletin, – 2021, – (6). – pp. 95-103.
- 4 Komarov Yu.Ya., Fedotov V.N., Antropov D.S. Analysis of the technical condition of cars. // Bulletin of transport. 2008. – No. 8. – p. 35–38.
- 5 Safiullin R.N., Intelligent onboard systems in road transport: monograph. – М. – Berlin: Direct - Media. 2017. – 355 p.
- 6 Bruno Dalla Chiara. ITS in road transport. Technologies, methods and application / Tech.ed. A.E. Gorev – М., 2014 – 532p.
- 7 Marusin A.V., Ablyazov T.Kh. Prospects for the digital transformation of logistics. // Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law No. 4–2 – (2019) – P. 240-244.
- 8 Safiullin R.N., Automated traffic control systems. Monograph. Edited by R.N. Safiullina. –St. Petersburg: Lan, – 2019. – 544 p.
- 9 Kisulenko B.V., Automated driving: development prospects and conditions for introduction // Collection of works of the International Academy of Transport, No. 17, – М.: 2014. – p. 80-88.
- 10 Katsuba Yu.N., Grigorieva L.V. Intelligent system for monitoring the technical condition of vehicles // Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference "Transport Design and Modeling" – 2017, – p.158.

© Сафиуллин Р.Н., Шаммазов И.А., Сафиуллин Р.Р., Сорокин К.В., Полуэктов В.А., 2023

DOI: [10.34220/2311-8873-2023-56-64](https://doi.org/10.34220/2311-8873-2023-56-64)



УДК 656.1/.5

UDC 656.1/.5

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

## СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ СЕТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ВЕЛОДОРОЖЕК В КРУПНЫХ ГОРОДАХ

## STRATEGIC PLANNING OF THE MAJOR BICYCLE NETWORK IN LARGE CITIES

**Сенин Иван Сергеевич,**  
старший преподаватель кафедры транспортных процессов и технологических комплексов, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар.

**Senin Ivan Sergeevich,**  
senior Lecturer, Department of Transport Processes and Technological Complexes, Kuban State Technological University, Krasnodar.

**Котенкова Ирина Николаевна,**  
старший преподаватель кафедры транспортных процессов и технологических комплексов, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар.

**Kotenkova Irina Nikolaevna,**  
senior Lecturer, Department of Transport Processes and Technological Complexes, Kuban State Technological University, Krasnodar.

**Надирян София Леоновна,**  
старший преподаватель кафедры транспортных процессов и технологических комплексов, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар.

**Nadiryan Sofia Levonovna,**  
senior Lecturer, Department of Transport Processes and Technological Complexes, Kuban State Technological University, Krasnodar.

**Коновалова Татьяна Вячеславовна,**  
к.экон.н., доцент кафедры транспортных процессов и технологических комплексов, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар.

**Konovalova Tatyana Vyacheslavovna,**  
cand. of Economic Sc., Associate Professor of the Department of Transport Processes and Technological Complexes of the Kuban State Technological University, Krasnodar.

**Лаврениц Илья Сергеевич,**  
студент кафедры транспортных процессов и технологических комплексов, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар.

**Lavrenets Ilya Sergeevich,**  
student of the Department of Transport Processes and Technological Complexes of the Kuban State Technological University, Krasnodar.

**Аннотация.** В статье рассмотрен алгоритм планирования сети магистральных велодорожек в крупных городах, позволяющий повысить надежность принимаемых решений по развитию транспортной инфраструктуры в условиях неопределенности закономерностей формирования велопотоков.

**Annotation.** The article considers an algorithm for planning a network of main bike paths in large cities, which makes it possible to increase the reliability of decisions made on the development of transport infrastructure in the face of uncertainty in the patterns of formation of cycle flows.



**Ключевые слова:** КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ, **Keywords:** CORRESPONDENCE, QGIS, QGIS, ВЕЛОДОРОЖКА, БУФЕРНАЯ ЗОНА, BIKE PATH, BUFFER ZONE, ОБЪЕКТ ПРИТЯЖЕНИЯ, OBJECT OF ATTRACTION.

<sup>i</sup> Автор для ведения переписки

### **1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы**

Велосипедная инфраструктура в России развивается зачастую бессистемно, что обусловлено неопределенностью закономерностей формирования велопотоков, что не позволяет объективно оценить потенциальный эффект от ее развития [3].

Существуют и систематически пополняются методические пособия, государственные стандарты, и другие материалы, которые касаются технических вопросов построения велодорожек и других дорожных объектов [13, 16]. Однако существует несколько вопросов, которым уделяется мало внимания – где проектировать велосипедные маршруты и как обосновать правильность этого решения? Предложенные рядом исследователей показатели мониторинга развития велосипедной инфраструктуры и способы оценки ее эффективности, зачастую рассматривают территории с частично сложившейся инфраструктурой с единой велотранспортной сетью или отдельные веломаршруты и требующие большого массива необходимой информации [1-5, 17-20].

Для решения этой проблемы необходимо проводить исследования в области формирования велопотоков, анализировать данные о количестве велосипедистов и их маршрутах движения, учитывать особенности территории и городской среды [6, 9-12, 14-15]. Также важно проводить широкую консультационную работу с населением и велосипедистами, чтобы учитывать их потребности и мнения при проектировании велосипедных маршрутов [7-8].

### **2 Материалы и методы**

При проведении исследования авторы исходили из постулата, что существуют объекты, формирующие корреспонденцию и объекты её поглощающие – точки притяжения населения. Зная их местоположение, можно создать теоретическую сеть маршрутов, которая соединяла бы данные объекты по кратчайшим путям, используя улично-дорожную сеть города. В качестве объекта исследования авторами выбрана территория города Краснодар. В качестве инструмента для проведения исследования использовалась геоинформационная система QGIS позволяющая проводить анализ векторных объектов, а также набор стандартных инструментов и плагинов данной программной среды.

### **3 Результаты исследований**

Алгоритм планирования сети магистральных велодорожек включает следующие этапы.

С помощью геоинформационной системы QGIS и открытых источников, на карту города были помещены объекты, поглощающие и создающие корреспонденцию: жилые комплексы высокой плотности, университеты и институты, колледжи, парки и другие рекреационные зоны (рис. 1).

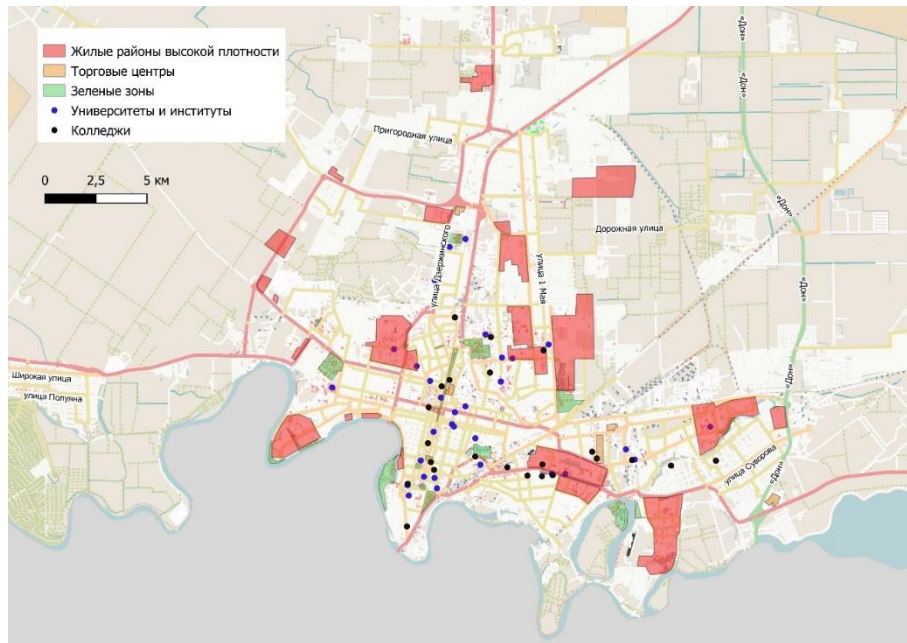


Рисунок 1 – Исходные данные для планирования

Далее был составлен расчёт корреспонденции по кратчайшим путям между объектами. Затем были выявлены участки улично-дорожной сети с различной плотностью связей и нанесены на карту (рис. 2).

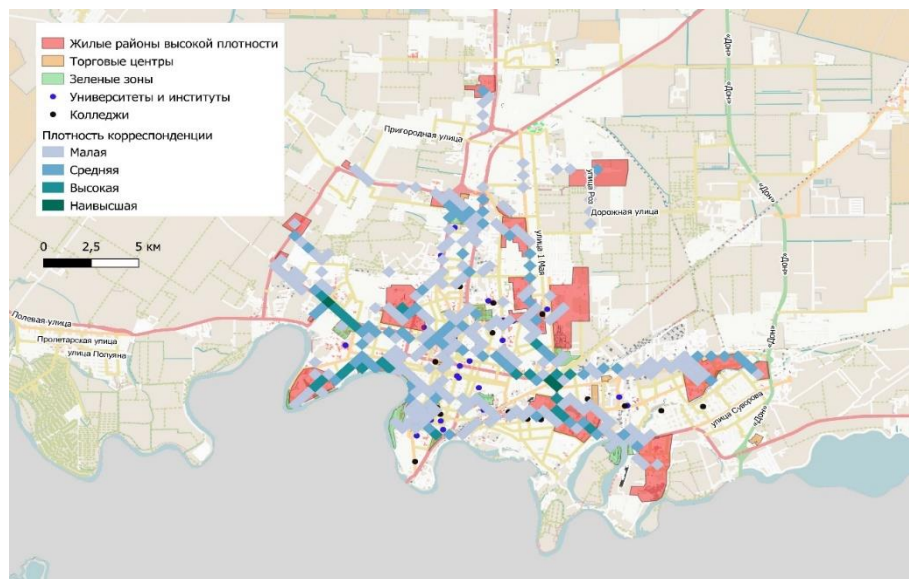


Рисунок 2 – Карта плотности корреспонденции

Улицы, предполагаемые для включения в сеть, были рассмотрены без учёта возможности приложения велосипедной дорожки или велосипедной полосы в принципе. Следующим шагом было построение предварительного каркаса магистральных велосипедных дорожек по улицам с максимальным количеством связей, а именно: ул. Ростовское шоссе, ул. Красная, ул. Северная, ул. Ставропольская, ул. Красных Партизан, ул. Уральская, ул. Проспект Чекистов, ул. Российская, ул. Западный обход (рис. 3). Общая протяжённость составила 110 километров.

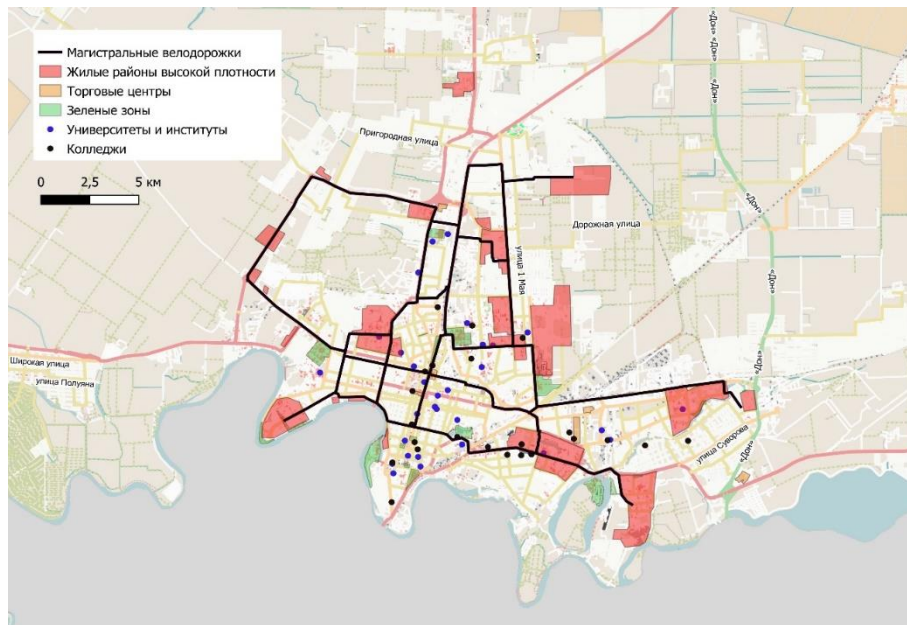


Рисунок 3 – Каркас магистральных велосипедных дорожек вариант №1

В виду того, что обустройство такой сети велодорожек, в сложившиеся городских условиях застройки, затруднительно и достаточно дорогостоящее, был создан второй вариант каркаса (рис. 4). В целях оптимизации, были убраны некоторые участки, которые дублировались и располагались близко друг к другу. По итогу, общая протяжённость составила 82,7 километров.

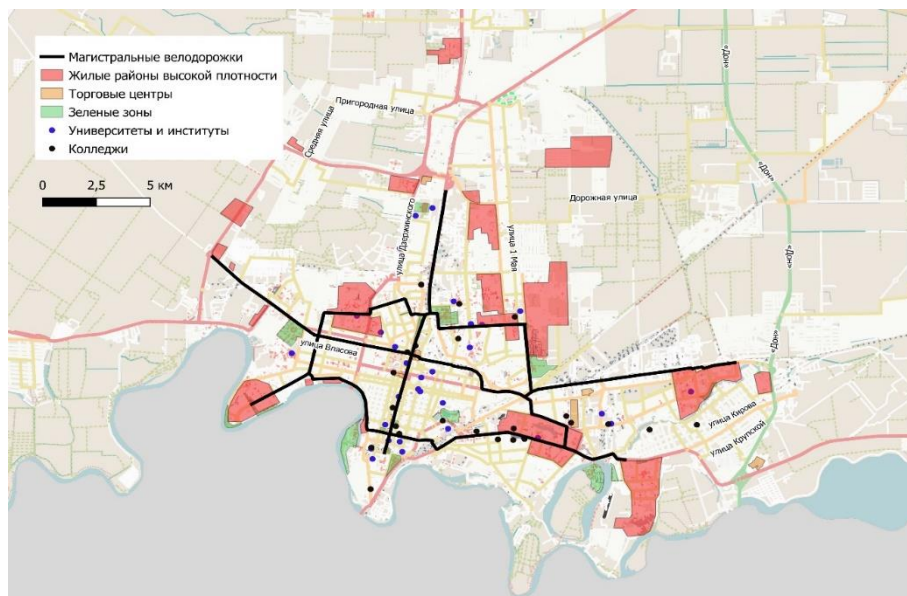


Рисунок 4 – Каркас магистральных велосипедных дорожек вариант №2

Получившаяся сеть позволяет в целом удовлетворить потребность велосипедистов, однако предполагается, что она должна в будущем развиваться и дополняться второстепенными велосипедными дорожками, которые будут заполнять территории, не обсуживаемые

основными маршрутами. На рис. 5 представлен каркас сети с буферной зоной обслуживания (менее 10 минут езды на велосипеде или 600 метров).

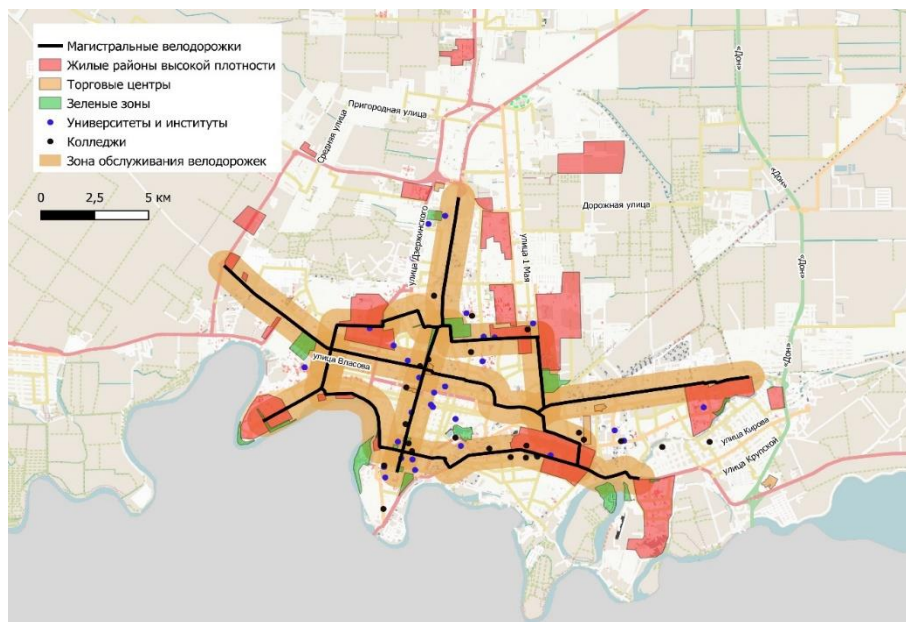


Рисунок 5 – Зона обслуживания магистральных велодорожек

#### 4 Обсуждение и заключение

При оценке возможности проектирования велосипедной инфраструктуры необходимо определить основные критерии ее эффективности:

1. **Безопасность.** Включает в себя разработку и строительство отдельных велосипедных дорожек, ограничения скорости движения автомобилей на улицах, установки светофоров и знаков, которые обеспечивают безопасность велосипедистов на дороге. Также важно проводить обучение велосипедистов правилам дорожного движения и контролировать их соблюдение. Кроме того, необходимо увеличить количество мест для парковки велосипедов и обеспечить безопасность при их хранении. Все эти меры помогут создать безопасную и комфортную среду для велосипедистов и способствовать развитию велосипедной культуры в городе.

2. **Последовательность.** Веломаршруты должны связывать между собой основные объекты тяготения, которые формируют велосипедные потоки. При этом велосипедная инфраструктура должна быть не прерывающейся, и позволяющей выбирать оптимальные маршруты передвижения. Также важно обеспечить доступность велосипедной инфраструктуры для всех групп населения, включая людей с ограниченными возможностями. Для этого можно использовать специальные адаптированные велосипеды и оборудование для перевозки велосипедов на общественном транспорте.

3. **Равномерность и прямолинейность.** Возможность двигаться по велодорожкам с оптимальной постоянной скоростью, минимизировать количество пересечений с проезжей частью улиц и дорог. Также важно предоставить велосипедистам достаточно места на дорогах и обеспечить безопасность их движения. Для этого можно использовать разметку велосипедных дорожек и установку специальных светоотражающих элементов на велосипедах.

4. **Привлекательность для пользователей.** Необходимо проводить информационную работу среди населения о преимуществах использования велосипедов как средства транспорта, а также о правилах безопасности при езде на велосипеде. С помощью велосипедного транспорта

должен быть обеспечен доступ к основным бытовым и социальным объектам, перемещение на велосипеде должно быть максимально комфортным, удобным, эстетичными беспроблемным.

5. Удобство. Состояние покрытия велодорожек не должно причинять неудобств велосипедистам. Так же должно быть большого количества участков, где необходимо перемещаться пешком (например, пересечения с проезжей частью).

Представленный метод стратегического планирования сети магистральных велодорожек в крупных городах может применяться достаточно эффективно, так как он не требует больших вычислительных мощностей, капиталовложений и специальной подготовки необходимой информации. Данный метод позволяет на этапе планирования мероприятий по развитию транспортной инфраструктуры повысить надежность принимаемых решений и их научную обоснованность.

В целом, развитие велотранспорта является важным направлением для создания устойчивого городского транспорта и улучшения качества жизни горожан. Он помогает уменьшить загрязнение окружающей среды, сокращает пробки на дорогах и способствует здоровому образу жизни. Однако для достижения этой цели необходимо проводить комплексные меры по развитию велосипедной инфраструктуры, повышению безопасности движения велосипедистов и информированию населения о преимуществах использования велосипедов, поддерживать и развивать велосипедную инфраструктуру в городах и создавать благоприятные условия для ее использования.

### Список литературы

- 1 Велотранспортная инфраструктура Москвы: система показателей мониторинга развития / Н. Киреева, Д. Завьялов, О. Сагинова, Н. Завьялова // Логистика. – 2019. – № 10(155). – С. 28-32.
- 2 Галышев, А. Б. Оценка приспособленности веломаршрута до и после создания велотранспортной инфраструктуры на примере города Красногорска / А. Б. Галышев, С. Г. Аракелян // European Journal of Natural History. – 2020. – № 1. – С. 72-75.
- 3 Гришина, О. А. Перспективный методический подход к выявлению зон с наибольшим потенциалом для развития велотранспортной инфраструктуры города / О. А. Гришина, А. И. Гришин, И. А. Строганов // Статистика и Экономика. – 2022. – Т. 19, № 6. – С. 10-20. – DOI 10.21686/2500-3925-2022-6-10-20.
- 4 Шилов, В. А. Внедрение экологичной велотранспортной инфраструктуры в современных городах / В. А. Шилов, А. А. Игнатьев // Экологические аспекты современных городов : Сборник материалов VIII межрегионального семинара, Иваново, 22 декабря 2021 года. – Иваново: Ивановский государственный политехнический университет, 2022. – С. 36-42.
- 5 Шарова, И. Д. Алгоритм проектирования городской велотранспортной инфраструктуры / И. Д. Шарова // Градостроительство и архитектура. – 2018. – Т. 8, № 3(32). – С. 117-123. – DOI 10.17673/Vestnik.2018.03.22.
- 6 Жегалина, Г. В. Рационализация планировочной организации территории города с учетом размещения велотранспортной инфраструктуры / Г. В. Жегалина, Э. В. Жегалина, И. В. Маркин // . – 2016. – № 1(41). – С. 72-83.
- 7 Павлова, И. Д. Пространственная многокритериальная оценка улично-дорожной сети как метод определения комфортности велосипедной поездки / И. Д. Павлова // . – 2018. – № 2. – С. 1-11.
- 8 Лобанова, А. С. Значение развития велотранспортной инфраструктуры в городских условиях / А. С. Лобанова // Теоретические и практические аспекты развития современной науки: теория, методология, практика : Сборник научных статей по материалам VI Международной научно-практической конференции, Уфа, 16 ноября 2021 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2021. – С. 312-317.
- 9 Семенда, Е. С. Формирование велосипедной и пешеходной инфраструктуры современного города / Е. С. Семенда, В. В. Сидорова // Дни науки крымского федерального универ-

ситета им. В.И. Вернадского : сборник трудов IV Научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых, Симферополь, 10–17 октября 2018 года / Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского. – Симферополь: Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, 2018. – С. 23-26.

10 Лебедева, К. С. Анализ существующей велоинфраструктуры в Г. Новосибирске / К. С. Лебедева, П. Ю. Бугаков // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2020. – Т. 6, № 2. – С. 3-7. – DOI 10.33764/2618-981X-2020-6-2-3-7.

11 Шалыгина, Д. О. Развитие велотранспортной сети городской территории (на материалах города Тюмени) / Д. О. Шалыгина, А. А. Матвеева // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения : Сборник материалов LI Международной студенческой научно-практической конференции, Тюмень, 16 марта 2017 года. Том Часть 1. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2017. – С. 166-168.

12 Павлова, И. Д. Велотранспортная инфраструктура как оптимальный способ восприятия города / И. Д. Павлова // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Градостроительство : сборник статей 74 международной научно-технической конференции / Самарский государственный технический университет : Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2017. – С. 249-254.

13 Велосипедный транспорт в городах / Ю. В. Трофименко, С. В. Шелмаков, С. О. Зега, Е. В. Шашина. – Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2020. – 154 с.

14 Перспектива автоматизации проектирования велоинфраструктуры городов с целью интеграции транспортных потоков сервисов доставок / Д. А. Коротыхин, А. В. Баните, Е. П. Кукушкина [и др.] // Автоматика на транспорте. – 2022. – Т. 8, № 3. – С. 296-306. – DOI 10.20295/2412-9186-2022-8-03-296-306.

15 Евтюков, С. С. Оценка влияния велосипедной инфраструктуры города на безопасность дорожного движения велосипедистов / С. С. Евтюков, И. С. Брылев, М. М. Блиндер // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 3-2(78). – С. 76-84. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-2(78)-3-76-84.

16 Методика оценки уровня обслуживания велосипедного движения / В. Н. Мячин, В. А. Флячинский, В. В. Шуляев, М. Г. Кондрашкин // . – 2021. – № 1-2(92-93). – С. 68-70.

17 Лебедева, К. С. Разработка методики создания геоинформационной системы для анализа велоинфраструктуры в Г. Новосибирске / К. С. Лебедева, П. Ю. Бугаков // . – 2021. – Т. 26, № 4. – С. 55-64. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-4-55-64.

18 Ролдугина, М. В. Проект по разработке системы велодорожек в городе Липецке / М. В. Ролдугина // Журналистика и география : Сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Воронеж, 18–19 марта 2022 года. Том II. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2022. – С. 88-94.

19 Добровольская, А. А. Особенности проектирования велодорожек в Санкт-Петербурге на основе анализа опыта стран балтийского региона / А. А. Добровольская // Системный анализ и логистика. – 2020. – № 4(26). – С. 122-130. – DOI 10.31799/2007-5687-2020-4-122-130.

20 Лавренец, И. С. К вопросу формирования велотранспортной инфраструктуры в крупных городах / И. С. Лавренец, И. С. Сенин // Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств : Сборник научных трудов по материалам XVI Международной научно-технической конференции, Саратов, 16 апреля 2021 года. – Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 2021. – С. 14-17.

### References

- 1 Cycling infrastructure of Moscow: a system of indicators for monitoring development / N. Kireeva, D. Zavyalov, O. Saginova, N. Zavyalova // *Logistics*. – 2019. – № 10(155). – P. 28-32.
- 2 Galyshev, A. B. Assessment of the fitness of a bicycle route before and after the creation of a transport infrastructure on the example of the city of Krasnogorsk / A. B. Galyshev, S. G. Arakelyan // *European Journal of Natural History*. – 2020. – No. 1. – pp. 72-75.
- 3 Grishina, O. A. A promising methodological approach to identifying areas with the greatest potential for the development of cycling infrastructure of the city / O. A. Grishina, A. I. Grishin, I. A. Stroganov // *Statistics and Economics*. – 2022. – Vol. 19, No. 6. – p. 10-20. – DOI 10.21686/2500-3925-2022-6-10-20.
- 4 Shilov, V. A. Introduction of eco-friendly cycling infrastructure in modern cities / V. A. Shilov, A. A. Ignatiev // *Ecological aspects of modern cities : A collection of materials of the VIII interregional seminar, Ivanovo, December 22, 2021*. – Ivanovo: Ivanovo State Polytechnic University, 2022. – pp. 36-42.
- 5 Sharova, I. D. Algorithm of designing urban bicycle transport infrastructure / I. D. Sharova // *Urban planning and architecture*. – 2018. – Vol. 8, No. 3(32). – pp. 117-123. – DOI 10.17673/Vestnik.2018.03.22.
- 6 Zhegalina, G. V. Rationalization of the planning organization of the city territory taking into account the placement of bicycle transport infrastructure / G. V. Zhegalina, E. V. Zhegalina, I. V. Markin // . – 2016. – № 1(41). – Pp. 72-83.
- 7 Pavlova, I. D. Spatial multi-criteria assessment of the street-road network as a method for determining the comfort of a bicycle trip / I. D. Pavlova // . – 2018. – № 2. – P. 1-11.
- 8 Lobanova, A. S. The importance of the development of bicycle transport infrastructure in urban conditions / A. S. Lobanova // *Theoretical and practical aspects of the development of modern science: theory, methodology, practice : A collection of scientific articles based on the materials of the VI International Scientific and Practical Conference, Ufa, November 16, 2021*. – Ufa: Limited Liability Company "Scientific Publishing Center "Bulletin of Science", 2021. – pp. 312-317.
- 9 Semenda, E. S. Formation of bicycle and pedestrian infrastructure of a modern city / E. S. Semenda, V. V. Sidorova // *Days of Science of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University : Proceedings of the IV Scientific and Practical Conference of Faculty, Graduate students, students and Young Scientists, Sim-feropol, October 10-17, 2018 / V.I. Vernadsky Crimean Federal University*. – Simferopol: V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 2018. – pp. 23-26.
- 10 Lebedeva, K. S. Analysis of the existing bicycle infrastructure in Novosibirsk / K. S. Lebedeva, P. Y. Bugakov // *Interexpo Geo-Siberia*. – 2020. – Vol. 6, No. 2. – pp. 3-7. – DOI 10.33764/2618-981X-2020-6-2-3-7.
- 11 Shalygina, D. O. Development of the bicycle transport network of the city territory (on the materials of the city of Tyumen) / D. O. Shalygina, A. A. Matveeva // *Current issues of science and economy: New challenges and solutions : Collection of materials of the LI International Student Scientific and Practical Conference, Tyumen, March 16, 2017. Volume Part 1* . – Tyumen: State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, 2017. - pp. 166-168.
- 12 Pavlova, I. D. Bicycle transport infrastructure as an optimal way of city development / I. D. Pavlova // *Traditions and innovations in construction and architecture. Urban planning : Collection of articles of the 74th International Scientific and Technical Conference / Samara State Technical University : Samara State Architectural and Civil Engineering University, 2017*. – pp. 249-254.
- 13 Bicycle transport in cities / Yu. V. Trofimenko, S. V. Shelmakov, S. O. Ze-ge, E. V. Shashina. – Moscow : Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (MADI), 2020. - 154 p.
- 14 The prospect of automating the design of bicycle infrastructure of cities with the aim of integrating transport flows of delivery services / D. A. Korotykhin, A.V. Banite, E. P. Kukushkina [et al.] // *Automation on transport*. – 2022. – Vol. 8, No. 3. – pp. 296-306. – DOI 10.20295/2412-9186-2022-8-03-296-306.

15 Evtyukov, S. S. Assessment of the impact of the city's bicycle infrastructure on the safety of cyclists' road traffic / S. S. Evtyukov, I. S. Brylev, M. M. Blinder // The world of transport and technological machines. – 2022. – № 3-2(78). – Pp. 76-84. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-2(78)-3-76-84.

16 Methodology for assessing the level of bicycle traffic service / V. N. Myachin, V. A. Flyachinsky, V. V. Shulyaev, M. G. Kondrashkin // . – 2021. – № 1-2(92-93). – Pp. 68-70.

17 Lebedeva, K. S. Development of a methodology for creating a geoinformation system for analyzing bicycle infrastructure in Novosibirsk / K. S. Lebedeva, P. Y. Bugakov // . – 2021. – Vol. 26, No. 4. – pp. 55-64. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-4-55-64.

18 Roldugina, M. V. Project for the development of a bicycle path system in the city of Lipetsk / M. V. Roldugina // Journalism and geography : Collection of materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference with International participation, Voronezh, March 18-19, 2022. Volume II. – Voronezh: Voronezh State University, 2022. – pp. 88-94.

19 Dobrovolskaya, A. A. Features of designing bike paths in St. Petersburg based on the analysis of the experience of the Baltic region countries / A. A. Dobrovolskaya // System analysis and logistics. – 2020. – № 4(26). – Pp. 122-130. – DOI 10.31799/2007-5687-2020-4-122-130.

20 Lavrenets, I. S. On the issue of the formation of bicycle transport infrastructure in large cities / I. S. Lavrenets, I. S. Senin // Topical issues of the organization of motor transport, traffic safety and operation of vehicles : Collection of scientific papers based on the materials of the XVI International Scientific and Technical Conference, Saratov, April 16, 2021. – Saratov: Saratov State Technical University named after Gagarin Yu.A., 2021. – pp. 14-17.

© Сенин И.С., Котенкова И.Н., Надирян С.Л., Коновалова Т.Н., Лаврентц И.С., 2023



DOI: [10.34220/2311-8873-2023-65-70](https://doi.org/10.34220/2311-8873-2023-65-70)



УДК 629.1

UDC 629.1

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

**PROMISING MODELS FOR ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF BRAKE SYSTEMS OF HIGHLY AUTOMATED VEHICLES**

✉<sup>1</sup> **Подопригора Николай Владимирович**, к.т.н., доц. кафедры наземных транспортно-технологических машин, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, e-mail: [n.v.podoprigora@gmail.com](mailto:n.v.podoprigora@gmail.com)

✉<sup>1</sup> **Podoprigora Nikolay Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Ground Transport and Technological Machines, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, e-mail: [n.v.podoprigora@gmail.com](mailto:n.v.podoprigora@gmail.com)

**Евтюков Сергей Аркадьевич**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой наземных транспортно-технологических машин, г. Санкт-Петербург.

**Yevtyukov Sergey Arkadyevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Land Transport and Technological Machines, St. Petersburg.

**Аннотация.** Предложены перспективные математические и логические модели диагностирования технического состояния тормозных систем высокоавтоматизированных транспортных средств, с целью своевременного выявления и предотвращения возникновения неисправностей, а также повышения уровня безопасности дорожного движения.

**Annotation.** Promising mathematical and logical models for diagnosing the technical condition of the braking systems of highly automated vehicles, in order to detect and prevent the occurrence of faults in time, as well as to improve traffic safety are proposed.

**Ключевые слова:** БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ, ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО, ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ, ТОРМОЗНЫЕ СИСТЕМЫ.

**Keywords:** ROAD SAFETY, HIGHLY AUTOMATED VEHICLE, TECHNICAL CONDITION, BRAKE SYSTEMS.

<sup>1</sup> Автор для ведения переписки

**1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы**

Современный уровень развития научно-технического прогресса на сегодняшний день позволяет создавать не только компьютерные, но и математические модели, позволяющие описывать с высокой степенью адекватности фактическое техническое состояние транспортных средств (ТС) на протяжении всего его жизненного цикла. Зачастую, углубленное изучение (анализ) диагностируемого объекта, возможно лишь при условии наличия у его модели математического вида. Логическое и математическое моделирование, с технической точки зрения, имеет

практическую ценность в том случае, когда возникает потребность в изучении сложных процессов диагностирования ТС в целом, так и отдельно его систем конструктивной безопасности.

В представленной публикации, математические модели рассматриваются авторами с позиции формализованного описания объекта, необходимого для решения существующих задач диагностирования современных ТС и в перспективе, высокоавтоматизированных транспортных средств (ВАТС).

В проводимом научном исследовании, ВАТС рассматривается, как ТС в конструкции которого внесены изменения, связанные с его оснащением автоматизированной системой вождения. Авторами рассматривается этап достижения пятого уровня (полной) автоматизации ТС и перехода водителя (водителя-оператора) в статус пользователя.

Сочетание анализа средств инструментального контроля и диагностирования ТС подразумевает собой формальное описание возникновения дефектов в процессе его эксплуатации. Для проведения исследований, именно математическая модель объекта диагностирования (при его нормальной эксплуатации) выступает в качестве исходных данных об объекте.

Возникновение дефекта влечет за собой и изменение параметров самой модели. Таким образом, представляется целесообразным внесение корректировок в исследуемую модель с целью прогнозирования возможных изменений при возникновении неисправностей. Такая модель по своей структуре должна быть подобна модели исправного ТС и отличаться от нее лишь отдельно взятыми компонентами.

## 2 Материалы и методы

Известно, что математической моделью объекта называют совокупность дифференциальных и алгебраических уравнений, эмпирических формул, таблиц, графиков и матриц, которые описывают характеристики объекта исследования. Любая разрабатываемая математическая модель позволяет приближенно отражать протекающие процессы в реальном объекте. Для оценки степени приближенности поведения реального объекта и разрабатываемой модели требуется проведение ее идентификации.

Поэтапная разработка математической модели является реальным инструментом в решении задач диагностирования. Ее стоит рассматривать как конечный продукт абстракции, формализации возможных эксплуатационных изменений, протекающих в жизненном цикле ВАТС.

Первым этапом разработки математической модели является построение и формализация структурной модели объекта диагностирования. Вторым этапом – внедрение математического аппарата в разработанную диагностическую модель, с последующим установлением совокупности исследуемых параметров систем конструктивной безопасности и ее функциональных характеристик, а также и построение взаимосвязей между ними.

С целью сокращения объема работ и времени на диагностирование объекта, установление взаимосвязей между исследуемыми параметрами, изучение физической сущности эксплуатационных изменений, включая и идентификацию измеряемых величин и параметров, оценивающих техническое состояние ВАТС (отдельной системы конструктивной безопасности), представляется целесообразным применение методов физического и математического моделирования.

На практике физическое моделирование исследуемого объекта, включая и протекающие в нем эксплуатационные изменения, имеют общую физическую природу

В эпоху развития ВАТС наиболее целесообразно применение математического моделирования при диагностировании неисправностей, информация о которых может поступать в память электронного блока управления (ЭБУ) диагностируемых систем.

Известно, что математические модели в зависимости от формы делятся на линейные и нелинейные. При получении линейной модели значительно упрощается задача диагностики, поскольку для этого класса задач учеными уже разработаны проверенные методы решения. Наиболее важным преимуществом линейных систем является взаимная независимость обратной связи системы на отдельные возмущения (воздействия). Это находит свое отражение

как в процессе получения диагностических сведений(информации), так и в процессе принятия решений. На практике, при решении таких задач технической диагностики высокоавтоматизированных транспортных средств, линейные модели находят свое применение в ситуациях, когда развитие выявленных дефектов будет приводить к незначительным отклонениям от нормативных значений измеряемых параметров, оценивающих техническое состояние систем конструктивной безопасности ВАТС.

Основываясь на характер исходных данных, разрабатываемые модели можно разделить на вероятностные (стохастические) и детерминированные. В рассматриваемых случаях, существенное отличие будет заключаться в аппарате описания и методах получения решений. Оценку технического состояния ВАТС на предмет соответствия требованиями конструктивной безопасности по критерию исправности/неисправности объекта, целесообразно представлять в форме динамической системы. Контролировать ее состояние предоставляется возможным в режиме реального времени (online) по средствам определения значений внутренних, входных и выходных параметров. Достоверными будут приниматься значения тех измеряемых параметров, которые были получены в динамическом состоянии диагностируемого объекта. Даже на наивысшем уровне автоматизации транспортного средства (пятый уровень), разрабатываемая диагностическая модель сможет идентифицировать перечень систем(узлов) в виде отдельных модулей(блоков), взаимосвязанных и интегрированных между собой. При выходе из строя одного модуля, поступающий от системы сигнал будет оказывать влияние на техническое состояние и работоспособность другого модуля.

### 3 Результаты исследований

Построение диагностической модели систем конструктивной безопасности ВАТС предшествует различным исследованиям технического состояния существующих современных транспортных средств с различным уровнем автоматизации. Результаты таких исследований позволяют сформировать обобщенную структуру будущего объекта диагностирования (ВАТС). Сформированная структура позволит: оценивать выполняемые функции модулей(блоков) и самого ВАТС в целом; определять режим его работы; определять состав элементов и выстраивать каналы информационных данных (КИД) между ними; выявлять наличие каналов обратных связей (КОС) и оценивать возможность их разрыва в период их диагностирования; выявлять признаки и определять параметры нормального функционирования системы; рабочие сигналы; определять диапазон измерения параметров при нормальном функционировании; выявлять характерные отказы конструктивных элементов систем ВАТС и их сопряжений с другими элементами(системами); своевременно обнаруживать возможные узлы регулирования.

Математическую модель объекта диагностирования (систем конструктивной безопасности ВАТС) можно представить в разных формах как в аналитической, графической, векторной или табличной (рис.1).

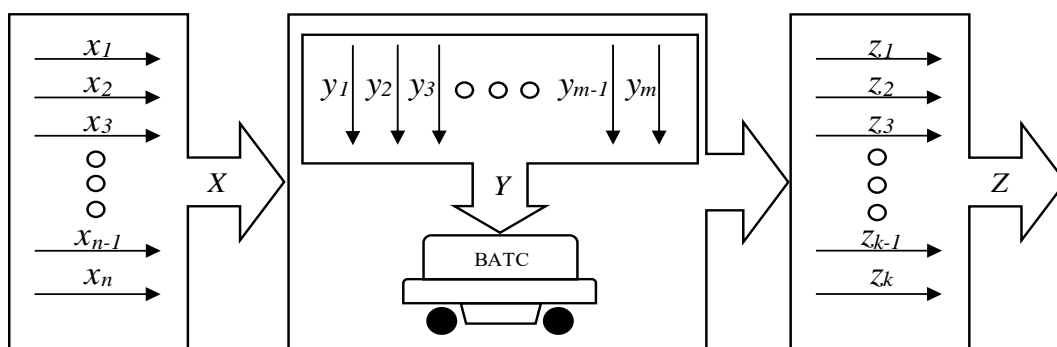


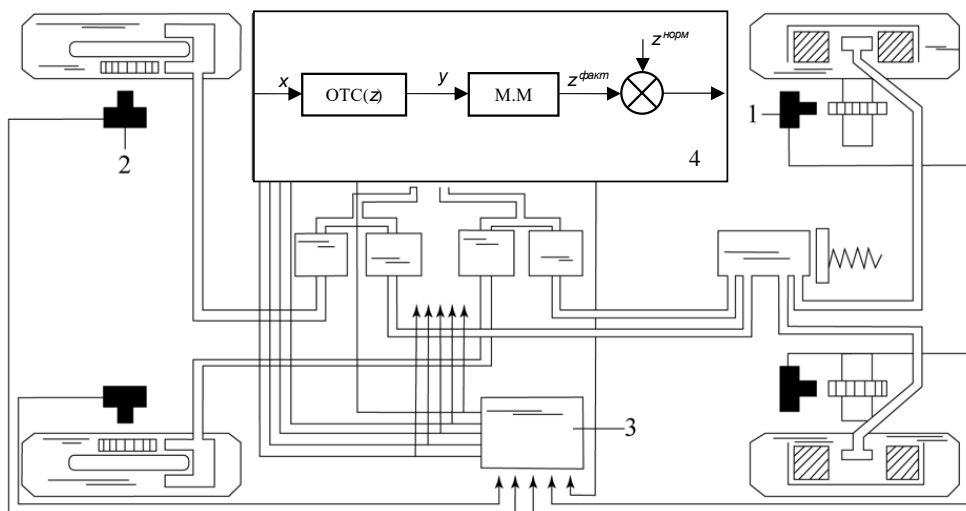
Рисунок 1 – Математическая модель диагностирования систем конструктивной безопасности ВАТС

В демонстрируемой математической модели  $X$  мерным вектором является  $n$ , у  $B$  демонстрируемой математической модели  $X$  мерным вектором является  $n$ , у которого компонентами являются значения входных переменных  $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ . Идентично, для модели  $Y$  мерным вектором является  $m$ , значения внутренних переменных которого являются  $y_1, y_2, y_3 \dots y_m$ , для  $Z$  – мерный вектор  $k$ , у которого значения выходных функций  $z_1, z_2, z_3 \dots z_k$ .

Таким образом, математической моделью исправного состояния системы конструктивной безопасности является выходная функция  $Z=f(X, Y_{ucx}, t)$ , в которой  $Y_{ucx}$  характеризует исходное(начальное) значение внутренних переменных измеряемых параметров объекта диагностирования(ВАТС), а  $t$  – фактор времени продолжительности эксплуатации.

В процессе эксплуатации изменяются внутренние переменные  $y_1, y_2, y_3 \dots y_m$  и не исключена вероятность проявления неисправностей(отказов). Следовательно, математическая модель  $i$ -го неисправного состояния ВАТС приобретает вид  $Z^i=f^i(X, Y^i_{ucx}, t)$ . Построение и реализация алгоритмов диагностирования объектов представляется возможным при определении содержания и количества проводимых операций(проверок)  $\varepsilon_j$ , где  $j=1,2,3$ . Каждая операция подразумевает собой воздействие (информационный запрос)  $\delta_j$  с целью получения обратной связи о состоянии диагностируемого объекта(системы).

В качестве примера внедрения такой математической модели в одну из систем ВАТС, авторы рассматривают типовую гидравлическую тормозную систему легкового транспортного средства категории М1, оснащенную ABS. Механизм получения данных и процесс оценки технического состояния тормозной системы, с последующей постановкой диагноза, представлен на рисунке 2.



1 – датчик ABS заднего колеса; 2 – датчик ABS переднего колеса; 3 – модуль ABS; 4 – цифровой программный модуль.

Рисунок 2 – Схематичное представление определения технического состояния тормозной системы

На объекте контроля (ОК) с параметрами технического состояния  $z$  действует внешнее возмущение  $x$ . С помощью встроенных средств измерения определяется диагностические параметры  $y$ . Значения этих параметров с использованием математической модели (ММ) преобразуются в значения параметров технической  $z^{факт}$ . Далее, эти значения сравниваются с нормативными с  $z^{норм}$  и по результатам делается заключение о техническом состоянии тормозной системы.

#### 4 Обсуждение и заключение

Благодаря применению современной микропроцессорной вычислительной техники и возможности программных платформ, в перспективных конструкциях ВАТС математическое моделирование позволит в значительной степени сократить и удешевить процесс диагностирования, осуществить выбор наиболее информативных диагностических параметров, накапливать и передавать информацию в режиме реального времени в аналитической форме с целью контроля и прогнозирования технического состояния систем конструктивной безопасности ВАТС.

#### Список литературы

- 1 Кравченко, П.А. Пофакторное управление уровнем обеспечиваемой безопасности на дорогах России / П.А. Кравченко, С.В. Жанказиев, Е.М. Олещенко // Транспорт Российской Федерации. – 2021. – № 5-6(96-97). – С. 3-9.
- 2 Кравченко, П.А. Концепция обеспечения «нулевой смертности» на дорогах России как механизм борьбы с причинами дорожно-транспортных происшествий / П.А. Кравченко, С.В. Жанказиев, Е.М. Олещенко // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 4(83). – С. 3-7.
- 3 Кравченко, П.А. Системный подход в управлении безопасностью дорожного движения в Российской Федерации / П.А. Кравченко, Е.М. Олещенко // Транспорт Российской Федерации. – 2018. – № 2(75). – С. 14-18.
- 4 ГОСТ Р ИСО 39001-2014. Системы менеджмента БДД. Требование и руководство по применению. – М.: Стандартинформ, 2015. – 33 с.
- 5 Современные тенденции развития бортовых интеллектуальных транспортных систем: монография / П.А. Пегин, Д.В. Капский, В.В. Касьяник, В.Н. Шуть; СПбГАСУ. – СПб., 2019. – 198 с.
- 6 Жигадло, А.П. Влияние психофизиологических особенностей личности водителя на надежность управления транспортным средством / А.П. Жигадло, М.Г. Дубынина // Вестник Сибирского отделения Академии военных наук. – 2018. – № 49. – С.119-130.
- 7 Евтюков, С.А. Эффективность оценки человеческого фактора при расследовании дорожно-транспортных происшествий / С.А. Евтюков // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: 8-я междунар. конф. – СПб.: СПбГАСУ, 2008. – С. 387-389.
- 8 Автотехническая экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учебно-методическое пособие / сост.: П.А. Стёпина, Е.В. Тюлькин, Н.В. Подопригора; СПбГАСУ. – СПб., 2018. – 233с.
- 9 Seliverstov, Ya.A. Intelligent systems preventing road traffic accidents in megalopolises in order to evaluate / Ya.A. Seliverstov, Sv.A. Seliverstov, V.I. Komashinskiy, A.A. Tarantsev, N.V. Shatalova, V.A. Grigoriev // Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017. – St. Petersburg, 2017. – P. 489–492.
- 10 Подопригора, Н.В. Системный подход в информационном обеспечении системы «УДД-ТС-Д-ВС» / Н.В. Подопригора // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 2(77). – С.70-75.
- 11 Afanasyev, A., Safiullin, R., Kuznetsova, E., Podoprighora, N., Vaga, V. (2022). Conceptual Approaches to Traffic Monitoring Design Under Varying Conditions of Vehicle Traffic. 2022 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2022 - Proceedings. DOI: 10.1109/EMCTECH55220.2022.9934067
- 12 Podoprighora, N.V., Marusin, A.V., Pegin, P.A., Karelina, E.A., Akulov, A.A. Systematic Approach in Information Support of the «Road User-Vehicle-Road-External Environment» System. 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 - Conference Proceedings, 2022. DOI 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744276

### References

- 1 Kravchenko, P.A. Factorial management of the level of safety provided on the roads of Russia / P.A. Kravchenko, C.V. Zhankaziev, E.M. Oleshchenko // *Transport of the Russian Federation*. – 2021. – № 5-6(96-97). – Pp. 3-9.
- 2 Kravchenko, P.A. The concept of ensuring "zero mortality" on the roads of Russia as a mechanism to combat the causes of road accidents / P.A. Kravchenko, C.V. Zhankaziev, E.M. Oleshchenko // *Transport of the Russian Federation*. – 2019. – № 4(83). – Pp. 3-7.
- 3 Kravchenko, P.A. System approach in road traffic safety management in the Russian Federation / P.A. Kravchenko, E.M. Oleshchenko // *Transport of the Russian Federation*. – 2018. – № 2(75). – Pp. 14-18.
- 4 GOST R ISO 39001-2014. BDD management systems. Requirements and guidelines for use. – M.: Standartinform, 2015. – 33 p.
- 5 Modern trends in the development of onboard intelligent transport systems: monograph / P.A. Pegin, D.V. Kapsky, V.V. Kasyanik, V.N. Shut; SPbGASU. – St. Petersburg, 2019. – 198 p.
- 6 Zhigadlo, A.P. The influence of psychophysiological features of the driver's personality on the reliability of vehicle management / A.P. Zhigadlo, M.G. Dubynina // *Bulletin of the Siberian Branch of the Academy of Military Sciences*. – 2018. – No. 49. – pp.119-130.
- 7 Yevtyukov, S.A. The effectiveness of human factor assessment in the investigation of road accidents / S.A. Yevtyukov // *Organization and safety of road traffic in large cities: 8th International Conference* - St. Petersburg: SPbGASU, 2008. - pp. 387-389.
- 8 Auto technical expertise of road accidents: educational-methodical manual / comp.: P.A. Stepina, E.V. Tyulkin, N.V. Podoprighora; SPbGASU. – St. Petersburg, 2018. – 233s.
- 9 Seliverstov, Ya.A. Intelligent systems preventing road traffic accidents in megalopolises in order to evaluate / Ya.A. Seliverstov, Sv.A. Seliverstov, V.I. Komashinskiy, A.A. Tarantsev, N.V. Shatalova, V.A. Grigoriev // *Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017*. – St. Petersburg, 2017. – P. 489–492.
- 10 Podoprighora, N.V. System approach in information support of the UDD-TS-D-VS system / N.V. Podoprighora // *World of transport and technological machines*. – 2022. – № 2(77). – Pp.70-75.
- 11 Afanasyev, A., Safiullin, R., Kuznetsova, E., Podoprighora, N., Vaga, V. (2022). Conceptual Approaches to Traffic Monitoring Design Under Varying Conditions of Vehicle Traffic. 2022 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2022 - Proceedings. DOI: 10.1109/EMCTECH5220.2022.9934067
- 12 Podoprighora, N.V., Marusin, A.V., Pegin, P.A., Karelina, E.A., Akulov, A.A. Systematic Approach in Information Support of the «Road User-Vehicle-Road-External Environment» System. 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 - Conference Proceedings, 2022. DOI 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744276

© Подопрighора Н.В., Евтjоков С.А., 2023

DOI: [10.34220/2311-8873-2023-71-80](https://doi.org/10.34220/2311-8873-2023-71-80)



УДК 629.1

UDC 629.1

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

**РАЗВИТИЕ РЫНКА АВТОМОБИЛЕЙ  
КИТАЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА В  
РОССИИ**

**DEVELOPMENT OF THE CHINESE-  
MADE CAR MARKET IN RUSSIA**

✉<sup>1</sup> **Комаров Сергей Дмитриевич**,  
магистрант, Рязанский институт (филиал  
Московского политехнического универси-  
тета), г. Рязань,  
e-mail: [komarovsergey123@mail.ru](mailto:komarovsergey123@mail.ru)

✉<sup>1</sup> **Komarov Sergey Dmitrievich**,  
Master's student, Ryazan Institute (branch of  
Moscow Polytechnic University), Ryazan,  
e-mail: [komarovsergey123@mail.ru](mailto:komarovsergey123@mail.ru)

**Ретюнских Вячеслав Николаевич**,  
к.т.н., доцент кафедры автомобилей и  
транспортно-технологические средств, Рязанский институт (филиал Московского политехнического университета), г. Рязань, e-mail: [vnret@yandex.ru](mailto:vnret@yandex.ru)

**Retyunskikh Vyacheslav Nikolaevich**,  
Candidate of Technical Sciences, Associate Profes-  
sor of the Department of Automobiles and  
Transport and Technological Means, Ryazan Insti-  
tute (branch of Moscow Polytechnic University),  
Ryazan, e-mail: [vnret@yandex.ru](mailto:vnret@yandex.ru)

**Кирышин Илья Николаевич**,  
к.т.н., доцент, заведующий кафедрой автомо-  
билей и транспортно-технологические средств,  
Рязанский институт (филиал Московского по-  
литехнического университета), г. Рязань,  
e-mail: [aitts@rimsou.ru](mailto:aitts@rimsou.ru)

**Kiryushin Ilya Nikolaevich**,  
Candidate of Technical Sciences, Associate  
Professor, Head of the Department of Automobiles  
and Transport and Technological Means, Ryazan  
Institute (branch of Moscow Poly-Technical  
University), Ryazan, e-mail: [aitts@rimsou.ru](mailto:aitts@rimsou.ru)

**Аникин Николай Викторович**,  
к.т.н., доцент кафедры автотракторной  
техники и теплоэнергетики, Рязанский  
государственный агротехнологический  
университет им. П.А. Костычева, г. Рязань,  
e-mail: [hay459@mail.ru](mailto:hay459@mail.ru)

**Anikin Nikolay Vikrovich**,  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
of the Department of Automotive Engineering and  
Thermal Power Engineering, Ryazan State Agro-  
technological University named after P.A.  
Kostychev, Ryazan, e-mail: [hay459@mail.ru](mailto:hay459@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассмотрено развитие рынка китайских автомобилей на территории России.

**Annotation.** The article discusses the develop-  
ment of the Chinese car market in Russia.

**Ключевые слова:** РЫНОК АВТОМОБИЛЕЙ, АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ, КИТАЙСКИЙ АВТОМОБИЛЬ.

**Keywords:** CAR MARKET, AUTOMOBILE TRANSPORT, CHINESE CAR.

<sup>1</sup> Автор для ведения переписки

## 1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Автомобильная промышленность Китая имеет более чем полувековую историю. С начала 1990-х годов она очень активно развивается. Китай в настоящее время способен производить полную линейку автомобильной продукции. К концу ноября 2006 года Китай имел в общей сложности 6322 автомобилестроительных предприятия [1]. Основными китайскими компаниями в настоящее время являются FAW, SAIC и Dongfeng.

Кроме того, Китай является крупнейшим в мире производителем и рынком сбыта транспортных средств на альтернативных источниках энергии, а также крупнейшим в мире производителем аккумуляторов и двигателей для электромобилей [2,3].

Китайские автомобильные компании активно продвигаются на российский рынок, регулярно предлагая новые модели, и в последнее время объём реализации машин из поднебесной заметно увеличился.

Открывая прайс-лист на китайские автомобили, практически сразу становится заметно, что даже в самых «младших» комплектациях машины имеют довольно неплохое оснащение. Чаще всего автомобили в базовых исполнениях поставляются с кондиционером и полным электропакетом, а в более оснащенных версиях можно нередко встретить климат-контроль и даже кожаную отделку салона.

Китайские компании стараются регулярно обновлять свои модели или выпускать полностью новые автомобили. В то время, как другие автомобильные компании обходятся небольшими изменениями в середине жизненного цикла модели, «китайцы» могут практически полностью переработать экстерьер и интерьер автомобиля.

Не стоит забывать и о том, что китайские компании регулярно выпускают новые модели разных размеров, которые будут подходить как для больших семей, так и для молодых людей, для которых важна внешность автомобиля, а не его практичность.

## 2 Материалы и методы

Китайская ассоциация автопроизводителей (СААМ) опубликовала данные о продажах пассажирских автомобилей в Китае в июле 2022 года. Всего продано 2.143.226 автомобилей. Это на 39.6% больше, чем в июле прошлого года. Продажи кроссоверов и внедорожников составили 1.031.939 штук, это на 43.4 % больше, чем в прошлом году. В сегменте седанов и хэтчбеков продано 998.351 автомобиль, это на 42.4 % больше, чем в июле прошлого года. В сегменте MPV продано 112.936 автомобилей, минус 1.8 %. Самым популярным кроссовером в Китае стал BYD SongPro DM (продано 33072 штуки), на втором месте Haval H6 (27638 автомобилей), на третьем Honda CR-V (26294). Среди седанов и хэтчбеков на первом месте Wuling MINI EV (продано 56609 штук), на втором месте Nissan Sylphy (41350 автомобилей), на третьем Volkswagen Lavalida (39054). В сегменте MPV лидером стал Wuling Hongguang (продано 16904 штуки), на втором месте Wuling Rongguang V (13808 автомобилей), на третьем Honda Elysion Hybrid (7057).

Лидером среди китайских производителей на внутреннем рынке стала марка BYD с результатом 162214 автомобилей, на втором месте Wuling (106938 автомобилей), на третьем Changan (106913), затем Chery (100831), Geely (84972), Haval (61279), GAC (56381), MG (53174) [1,4].

Наибольшим спросом в России в настоящее время пользуются кроссоверы и внедорожники, а реализация классических седанов и хэтчбеков постоянно снижается. Практически все китайские компании сейчас предлагают автомобили класса SUV. Например, Chery продает сейчас большие кроссоверы по типу Tiggo 8 Pro или компактный Tiggo 4, а среди продукции Haval имеются кроссоверы F7, F7x и рамные внедорожники H5 и H9, а также новейшие Jolion и Dargo [5].



Аналитики подсчитали, сколько всего китайских автомобилей в России. Названы лидеры по популярности среди марок и моделей.

По данным аналитиков, к 1 января 2022 года число «китайцев» составило 795 тысяч легковых машин. Это лишь 1,7 % от общего количества. Впрочем, и абсолютный показатель, и относительный постоянно растут.

Если же ориентироваться на данные на начало года, то более четверти всего парка занимают автомобили Chery. Их 221 тысяча, то есть свыше 28%. Вторым все еще держится Lifan. Действующие дилерские центры этой марки найти в России сейчас уже непросто. Но у автовладельцев на руках находится 154 тысячи машин с парусниками на решетке радиатора. Впрочем, уже сейчас Lifan наверняка опередили Geely. К 1 января их на рынке было 152 тысячи единиц. Доля в 15% — 119 тысяч машин — принадлежит Great Wall. А вот суббренд этого концерна — Haval, успешно работающий несколько лет, — пока лишь замыкает пятерку. Его объем — 70 тысяч автомобилей [4]. Все остальные марки формируют лишь 10% парка «китайцев».

Что касается модельной структуры, то самая популярная китайская модель — кроссовер Chery Tiggo. Результат — 57 тысяч единиц. Это на 3 тысячи больше, чем у «паркетника» Lifan X60, и на 5 тысяч — чем у внедорожника Great Wall Hover H3. Совсем немного от тройки отстает седан Lifan Solano — 51,5 тысячи машин. А замыкает топ-5 еще один SUV — GreatWall Hover H5 с объемом 35,5 тысяч авто. Отметим, что все эти модели, за исключением Solano, рынок уже покинули. Да и четырехдверный седан от Lifan присутствует в России скорее формально [6].

Лидеры (рис.1) по приросту числа новых дилерских контрактов — Chery и Cheryexeed, за год они открыли 36 и 38 «шоу-румов» соответственно. У компании Geely появился 21 новый автоцентр, FAW открыл 15 новых точек продаж, а бренды Changan и Haval — по 14 каждый [1, 5].



Рисунок 1 – Динамика прироста центров продажи китайских автомобилей в России

Взрывной рост сетей китайских брендов напрямую отражает небывалый интерес россиян к продукции китайского автопрома. Среди автокомпаний из КНР в первую тройку по росту продаж по итогам семи месяцев этого года входят Chery, Haval и Geely. Отгрузка автомобилей их дилерам увеличилась на 430 %, 126 % и 103 % соответственно к аналогичному периоду прошлого года, говорится в отчете комитета автопроизводителей Ассоциации европейского бизнеса (АЕБ) в России.

### 3 Результаты исследований

По итогам октября 2022 года в России было приобретено 12767 новых легковых автомобилей китайских марок, что составляет 29,5% от общего объема рынка. Об этом сообщают эксперты агентства «АВТОСТАТ» (рис. 2,3). В то время как весь российский авторынок падает (-63% в октябре), продажи «китайцев» растут, причем уже третий месяц подряд. Так, в августе они выросли на 20%, в сентябре – на 8%, а в октябре – на 3%. Соответственно растет и рыночная доля китайских брендов: если в январе – марте она составляла 9 – 10%, то теперь втрое больше.

Каждый третий (34%) купленный в октябре китайский автомобиль относится к марке Haval, показатель которого составил 4316 единиц – на 8,4% больше, чем год назад. Немного меньше результат у Chery (3838 шт.; -16%), на долю которой пришлось 30%. Примерно пятая часть (19,4%) купленных «китайцев» осталась за Geely (2483 шт.; -11,7%). Бренд EXEED (1163 шт.; рост в 5,7 раза) преодолел тысячную отметку. Объемы покупок машин остальных китайских брендов в октябре составили менее 300 экземпляров. В рейтинге самых популярных моделей из КНР по итогам октября первенствует Haval Jolion, который за месяц был куплен в количестве 3049 автомобилей. На вторую позицию опустился самый популярный «китаец» по итогам сентября – Chery Tiggo 7 PRO (2134 шт.). Замкнул тройку лидеров Geely Coolray с показателем 1394 единицы. Порог в 1 тысячу экземпляров преодолел и Chery Tiggo 4 (1029 шт.), а показатели других китайских моделей находятся ниже этого значения [7].

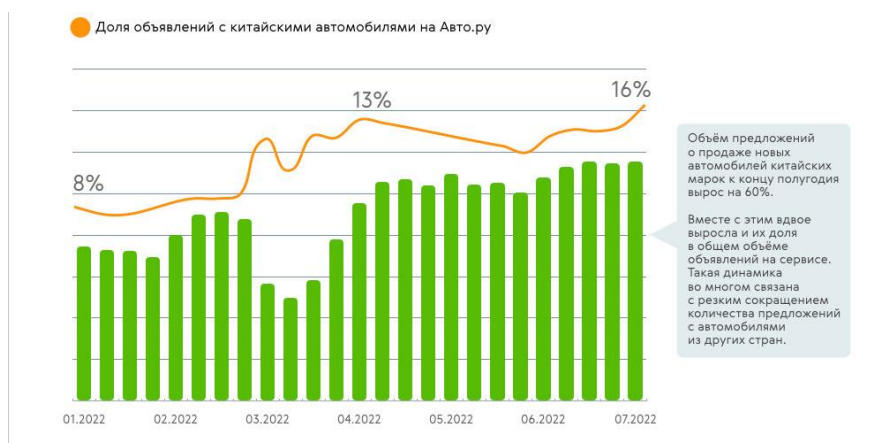


Рисунок 2 – Динамика продаж новых китайских автомобилей

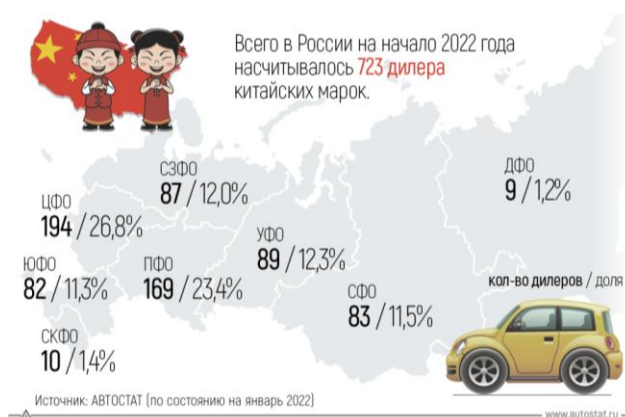


Рисунок 3 – Количество дилерских центров китайских автомобилей в России по состоянию на январь 2022 года

Трудности с выпуском и импортом новых автомобилей большинства европейских и азиатских брендов помогли сегменту китайских машин укрепить свои позиции [8] (рис. 5). К концу первого полугодия объём предложений оказался выше, чем в начале года, несмотря на общее снижение предложений: объявлений стало на 60% больше (среднее дневное количество в июне относительно января). При этом общее количество публикаций по продаже автомобилей за этот период сократилось на 10–15%.

В разных федеральных округах присутствие «китайцев» ощущается по-разному. Так, более четверти их дилеров (26,8%) приходится на Центральный ФО. Количественно это составляет 194 дилерских центра (подразумеваются дилерские контракты или «номера»). Немного меньше насчитывается их в Приволжском ФО (23,4 % или 169 дилеров). Еще в четырех округах (Северо-Западном, Южном, Уральском и Сибирском) число дилеров автопроизводителей из КНР находится в диапазоне от 80 до 90 (доля 11 – 12 %). Меньше всего их имеется на Северном Кавказе (10 или 1,4% от общего количества) и Дальнем Востоке (9 или 1,2 %). Эксперты агентства «АВТОСТАТ» считают, что в свете текущих геополитических событий доля китайских брендов на российском рынке, которая последние годы росла, может вырасти еще больше. Также нельзя исключать и увеличения количества их дилеров. Главная причина этого – уход сразу нескольких американских, европейских и японских брендов с авторынка РФ в свете принятых санкций. Как раз именно «китайцы» извлекают из этого процесса наибольшую выгоду. Это касается не только укрепления позиций на нашем рынке действующих игроков из КНР, но и возможного появления новых брендов из Поднебесной.

Те же причины позволили китайским брендам удвоить свою долю на российском рынке. В январе на Авто.ру насчитывалось не больше 8% предложений с моделями из Поднебесной, а к концу июня их доля в общем объеме выросла до 16 %.

На вторичном рынке объявлений стало больше на 40%, хотя в целом рынок за 6 месяцев вырос не так сильно - на 25–30 %. Доля китайских моделей по-прежнему не превышает 2%, хотя в марте она даже незначительно падала. Невысокий показатель доли автомобилей из Китая в перепродаже связан с тем, что спрос на такие машины стал стремительно расти только в последние 3–4 года, но свежие машины пока редко появляются на рынке. А доля более старых китайских машин, которые продавались лет 15 назад, исторически очень мала в общем объеме рынка.

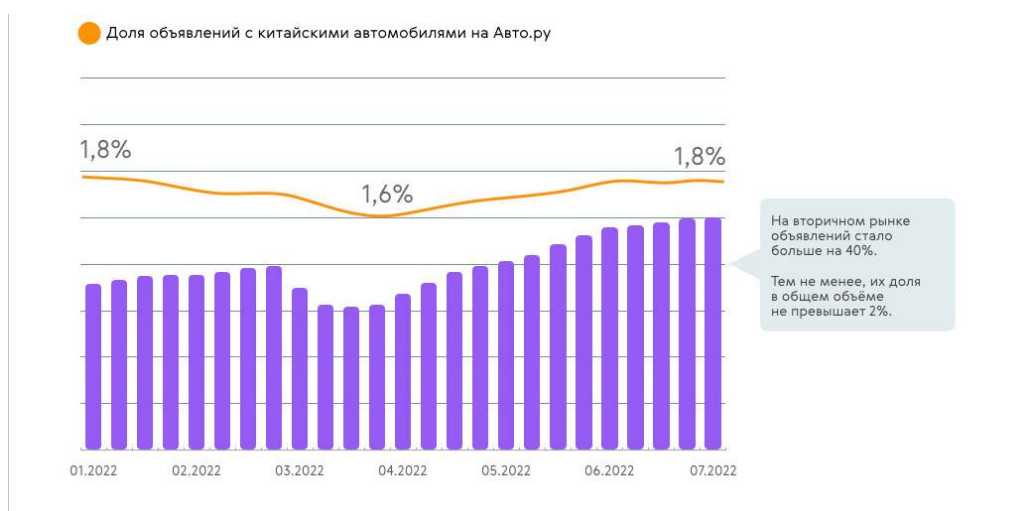


Рисунок 4 – Динамика продаж поддержанных китайских автомобилей

Спрос на новые китайские машины (рис.5) в начале лета оказался на четверть ниже, чем в январе 2022 года. При этом интерес к ним выше, чем к другим машинам: до кризиса

контакты продавцов китайских автомобилей узнавали в среднем на 5% чаще, в период ажиотажа (конец февраля — первая половина марта) — в полтора раза чаще, далее — на 7 % чаще.

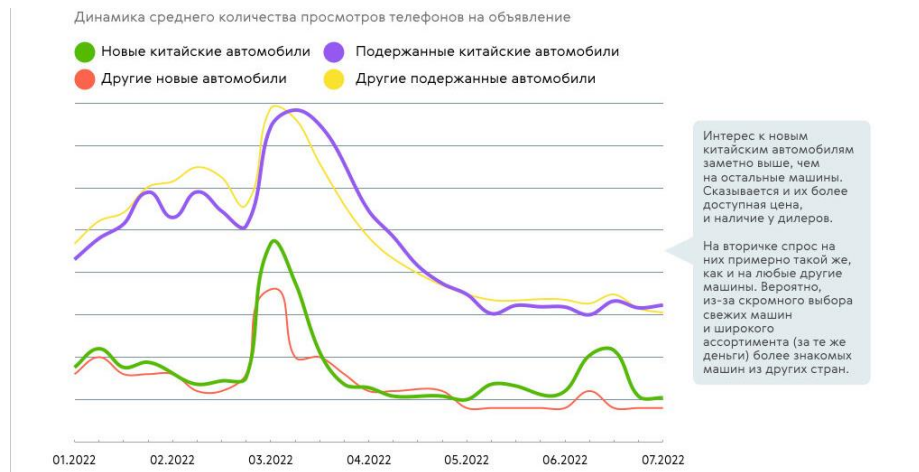


Рисунок 5 – Запросы потребителей по поиску китайских автомобилей

На вторичном рынке спрос на китайские машины примерно такой же, как и на европейские или японские. Но это лишь из-за ограниченного выбора свежих предложений. Кроме того, ассортимент подержанных автомобилей намного шире, чем новых, и острого дефицита на вторичном рынке нет. Поэтому россияне при одинаковом бюджете отдают предпочтение пусть и более возрастным, но более знакомым моделям.

В первые недели марта 2022 года средняя цена на новые китайские автомобили на сайте Авто.ру выросла до рекордно высокого показателя — до 3,2 миллиона рублей (рис. 6). Это в полтора раза выше, чем в начале января. И примерно на этой отметке с небольшими колебаниями ценник держится до настоящего времени.

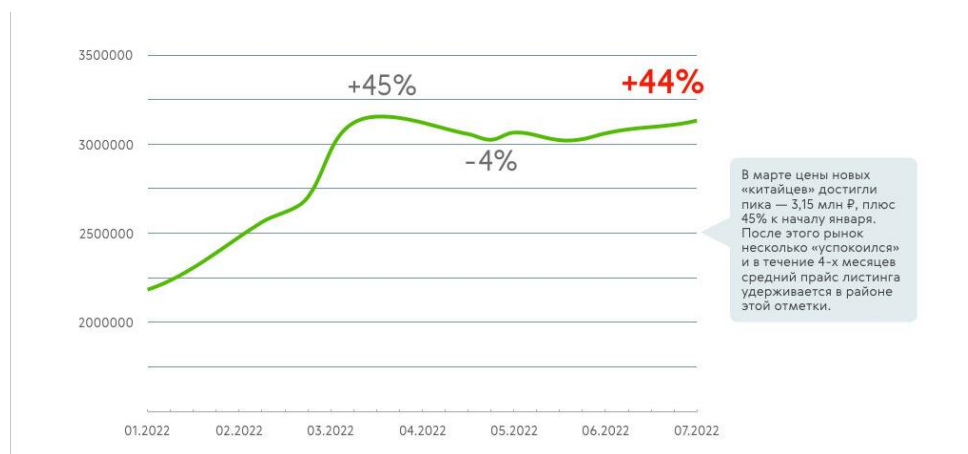


Рисунок 6 – Динамика средней цены на новый китайский автомобиль в течение 2022 года

На вторичном рынке цены менялись более резко (рис. 7). С начала года и до конца февраля средний прайс постепенно вырос на 21%, до 900 тысяч рублей, после чего, к середине марта, упал к докризисному уровню — 840 тысяч (минус 7%). С тех пор ценник плавно, но уверенно повышался и к концу мая вышел на плато — чуть меньше 1,1 миллиона рублей (плюс 44% к началу года).

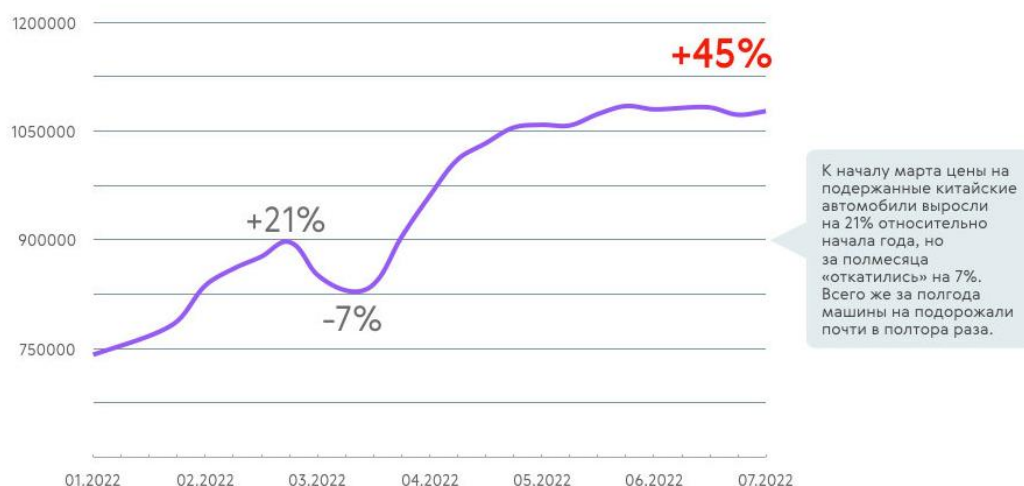


Рисунок 7 – Средняя цена китайских автомобилей с пробегом

Важно понимать, что на средней цене поиска сказываются не только колебания цен на конкретные модели, но и изменение структуры предложений на рынке.

На рынке новых машин (рис. 8) доминируют предложения по продаже автомобилей марок Geely и Haval: они почти одинаково популярны среди пользователей Авто.ру. Немного уступает Chery (контакты продавцов смотрят на 8 % реже), однако эта тройка — далеко впереди конкурентов.

Для сравнения: телефоны дилеров Exeed узнают вдвое реже, чем контакты продавцов брендов из топ-3, а Changan — ещё в 4 раза реже. Эти бренды замыкают топ-5. В десятке лидеров также оказались FAW, JAC, GAC, Great Wall и Dongfeng.

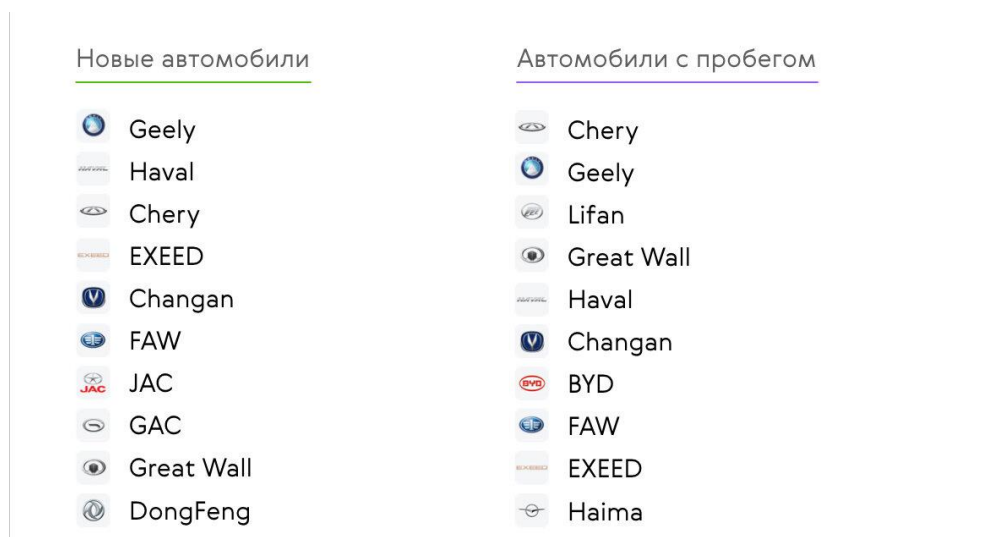


Рисунок 8 – Списки популярных китайских марок автомобилей среди пользователей Авто.ру

На вторичном рынке (рис. 8) лидируют автомобили марки Chery — они почти вдвое популярнее, чем Geely и Lifan. Во многом на популярности сказываются массовость и длительность присутствия марки в России: таких машин на вторичном рынке больше, чем автомобилей других брендов. В пятёрку также попали Great Wall и Haval, причём Great Wall находится в списке выше, чем Haval. Это связано с тем, что Haval был основан лишь в 2013 году, и по сей

день является подразделением компании Great Wall Motors по производству кроссоверов и внедорожников, следовательно, и на рынке он появился намного позже. Во второй половине топ-10 - Changan, BYD, FAW, Exeed, которые пока отсутствуют в перепродаже, а также Haima [9].

Почти все официально представленные в стране китайские модели на рынке новых машин - это кроссоверы разных размеров и ценовых сегментов. Неудивительно, что топ-10 самых популярных заняли представители SUV.

Больше 98% новых китайских автомобилей в России — это представители сегмента SUV. На вторичном рынке на них приходится 65 % предложений, но к июлю их доля выросла на 10% по сравнению с началом года. И дальше она будет только расти. Около 20 % предложений в перепродаже — седаны, 13 % — хэтчбеки.

Почти 60% новых машин — переднеприводные, из них 87 % — с автоматической трансмиссией. Среди вариантов с пробегом доля моноприводных машин выше — три четверти. Это чуть меньше, чем в начале года (минус 2 п.п.): сказывается появление свежих предложений. Доля вариантов с «механикой» снижается: если в начале года 7 из 10 машин в перепродаже были с механической КПП, то сейчас — уже 57 %.

Самые частые цвета, если говорить о предложениях без пробега, — белый (четверть предложений), серый и чёрный (по 21%). Одинаково часто в продаже появляются красные и синие машины (каждое 10-е предложение) — вдвое чаще, чем серебристые и фиолетовые.

Согласно итогам опроса (рис. 9), большинство пользователей Авто.ру (58 %) позитивно относятся к автомобилям китайских брендов. Больше половины из них уже купили или уверены, что купят китайскую машину, остальные такую возможность как минимум не исключают.

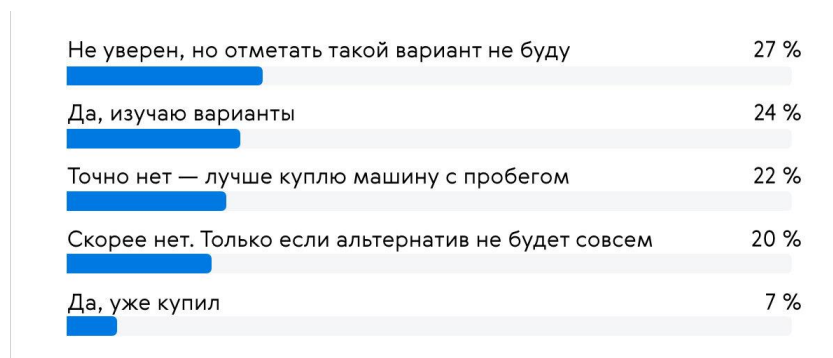


Рисунок 9 – Данные опроса о готовности к покупке китайского автомобиля

И даже среди противников почти половина респондентов рассмотрят «китайцев» в том случае, если машина будет нужна, а других вариантов не останется.

При этом для покупателей чаще всего не имеет значение, в какой именно стране собран китайский автомобиль (рис. 10). Правда, машину из Китая хотели бы купить втрое больше респондентов, чем китайский автомобиль, но выпущенный в России.

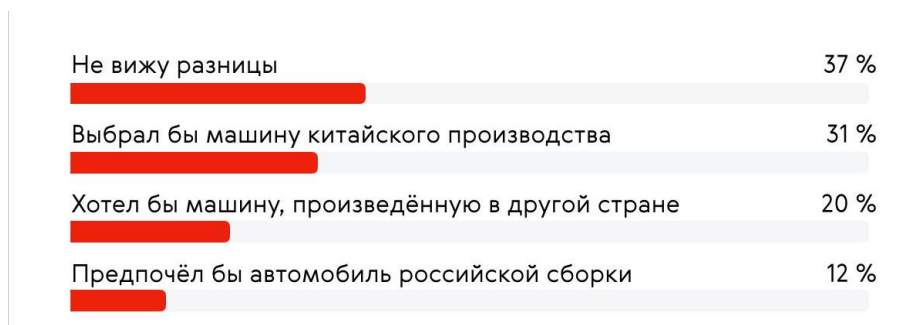


Рисунок 10 – Данные опроса об отношении к стране - сборщику китайского автомобиля

#### 4 Обсуждение и заключение

Сегодня машины из Поднебесной выбирают в основном из-за более конкурентных цен. Вдвое меньше респондентов предпочитают их из-за дизайна, а ещё вдвое реже такую машину готовы купить только ради современной технической начинки или богатой комплектации. На стоимость владения и практичность в эксплуатации этих машин обращают внимание лишь пять человек из ста [10] (рис. 11).



Рисунок 11 – Данные опроса о том, что наиболее всего привлекает их в китайском автомобиле

В Рязани на дорогах общего пользования с каждым днём можно встретить всё больше автомобилей китайского производства. В городе присутствуют автосалоны таких автомобилей, как: Geely, Changan, Lifan, Faw, Haval, Chery, Exeed. Почти все автосалоны находятся в черте города и имеют высокую популярность среди автолюбителей Рязани.

В России активно строятся заводы по производству китайских автомобилей. С каждым днём на дорогах общего пользования появляется всё больше автомобилей из Поднебесной, поэтому владельцам частных автосервисов имеет смысл задуматься о переоборудовании своего бизнеса под обслуживание китайских авто, что будет очень прибыльным решением в 2023 году.

#### Список литературы

1 Фу Сунцзюнь, Исследование стратегии интернационализации китайских автомобильных брендов [Текст] / Фу Сунцзюнь // Сб.: Youth for science 2022: сборник статей Международного учебно-исследовательского конкурса – Петрозаводск, 2022 – Стр. 167-175.

2 Кравцов Ю.И., Развитие рынка электромобилей: китайский опыт [Текст] / Ю.И. Кравцов // Журнал автомобильных инженеров: М. – 2017. – №5(106). – Стр. 5-11.

3 Дорохин С. В., Проблемы и перспективы развития рынка электротранспорта в российской федерации [Текст] / С. В. Дорохин, Н.А. Азарова, В.А. Рудь // Сб.: «Зеленая экономика: «IFOREST»: Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 2021 – Стр. 25-28.

4 URL: <https://www.chinamobil.ru/news/statistika-prodazh-avtomobiley-v-kitae-v-iyule-2022-g.html>

5 Киселев Д.В., Хавейл в России: семилетний путь к успеху [Текст] / Д.В. Киселев // Скиф. Вопросы студенческой науки: СПб. – 2022. – №5(106). – Стр. 228-232.

6 ©ООО «Автомобильная статистика» - 2005 -2023 URL: <https://www.autostat.ru/infographics/51088/> © Автостат.

7 URL: <https://xn----7sbbeptbfadjdvm5ab9bjj.xn--p1ai/2022/03/30/skolko-vsego-kitajskih-avtomobiley-v-rossii/>

8 Дорохин С. В., Анализ влияния внешнеэкономических факторов на развитие транзитных перевозок на территории ЕАЭС [Текст] / С. В. Дорохин, В.А. Зеликов, А.Ш. Субхонбердиев, Е.В. Титова, Н.Н. Попова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – Воронеж, 2020. – №1(83). - Стр. 419-425.

9 URL: <https://xn----7sbbeptbfadjdvm5ab9bjj.xn--p1ai/2021/08/23/strana-kitajskij-avtomobil/>

10 URL: <https://www.autostat.ru/news/53030/> © Автостат.

### References

1 Fu Songjun, Research of the internationalization strategy of Chinese automobile brands [Text] / Fu Songjun // Collection: Youth for science 2022: collection of articles of the International Educational and Research Competition - Petrozavodsk, 2022 - Pp. 167-175.

2 Kravtsov Yu.I., Development of the electric vehicle market: Chinese experience [Text] / Yu.I. Kravtsov // Journal of Automotive Engineers: M. – 2017. – №5(106). – Pp. 5-11.

3 Dorokhin S. V., Problems and prospects of development of the electric transport market in the Russian Federation [Text] / S. V. Dorokhin, N.A.Azarova, V.A. Rud // Collection: "Green Economy: "IFOREST": Materials of the international scientific and practical conference, Voronezh, 2021 – Page. 25-28.

4 URL: <https://www.chinamobil.ru/news/statistika-prodazh-avtomobiley-v-kitae-v-iyule-2022-g.html>

5 Kiselev D.V., Havale in Russia: the seven-year path to success [Text] / D.V. Kiselyov // Skif. Questions of student science: St. Petersburg. – 2022. – №5(106). – Pp. 228-232.

6 ©Automobile Statistics LLC - 2005-2023 URL: <https://www.autostat.ru/infographics/51088/> / © Autostat.

7 URL: <https://xn----7sbbeptbfadjdvm5ab9bjj.xn--p1ai/2022/03/30/skolko-vsego-kitajskih-avtomobiley-v-rossii/>

8 Dorokhin S. V., Analysis of the influence of foreign economic factors on the development of transit transportation on the territory of the EAEU [Text] / S. V. Dorokhin, V.A. Zelikov, A.Sh. Subkhonberdiev, E.V. Titova, N.N. Popova // Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. – Voronezh, 2020. – №1(83). - Pp. 419-425.

9 URL: <https://xn----7sbbeptbfadjdvm5ab9bjj.xn--p1ai/2021/08/23/strana-kitajskij-avtomobil/>

10 URL: <https://www.autostat.ru/news/53030/> / © Autostat.

© Комаров С.Д., Ретюнских В.Н., Кирюшин И.Н., Аникин Н.В., 2023



DOI: [10.34220/2311-8873-2023-81-87](https://doi.org/10.34220/2311-8873-2023-81-87)



УДК 65-05

UDC 65-05

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

## ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ ВОДИТЕЛЬСКОГО СОСТАВА НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

## INFLUENCE OF QUALITY OF PREPARATION OF DRIVING COMPOSITION ON NON-HAZARDS OF MOVEMENT

✉<sup>1</sup> **Волков Владимир Сергеевич**, д.т.н., профессор, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, e-mail: [wl.volkov@yandex.ru](mailto:wl.volkov@yandex.ru)

✉<sup>1</sup> **Volkov Vladimir Sergeevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: [wl.volkov@yandex.ru](mailto:wl.volkov@yandex.ru)

**Лебедев Евгений Григорьевич**, ассистент, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, e-mail: [lebedev-rti@mail.ru](mailto:lebedev-rti@mail.ru)

**Lebedev Evgeniy Grigoryevich**, Assistant, Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: [lebedev-rti@mail.ru](mailto:lebedev-rti@mail.ru)

**Аннотация.** Рассмотрено влияние качества профессиональной подготовки водителей транспортных средств на уровень совершаемых ими нарушений Правил дорожного движения в условиях транспортной работы. В зависимости от уровня теоретических знаний и возрастных данных водителя определён коэффициент его теоретической готовности к управлению транспортным средством.

**Annotation.** The influence of the quality of professional training of drivers of vehicles on the level of traffic violations committed by them in the conditions of transport work is considered. Depending on the level of theoretical knowledge and age data of the driver, the coefficient of its theoretical readiness to drive the vehicle is determined.

**Ключевые слова:** ВОДИТЕЛЬ, ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО, ДОРОЖНОЕ ДВИЖЕНИЕ, НАРУШЕНИЕ, ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА, АДАПТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД.

**Keywords:** DRIVER, VEHICLE, TRAFFIC, VIOLATION, THEORETICAL TRAINING, ADAPTATION PERIOD.

<sup>1</sup> Автор для ведения переписки

### 1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Система обеспечения безопасности дорожного движения базируется на многих составляющих [1-10], среди которых роль квалификации водителей занимает далеко не последнее место. Об этом свидетельствует большое число нарушений Правил дорожного движения, скорость которых в условиях транспортной сети г. Воронежа в дневное время составляет на отдельных перекрестках от 20 до 60 нарушений в час. Такая обстановка создает предпосылки для значительного увеличения риска возникновения конфликтных и аварийных ситуаций, результатом чего можно рассматривать рост убытков от повреждений транспорт-

ных средств и травматизма пешеходов. В работе [4] рассматривается оценка риска возникновения ДТП на дорожных пересечениях по показателю безопасности пересечения  $K_a$ , определяемому по формуле

$$K_a = \frac{10^7 G K_\Gamma}{(M + N) 25}$$

где  $M$  и  $N$  - суммарные интенсивности движения автомобилей на пересекающихся направлениях движения; 25 – среднее число рабочих дней в месяце;  $K_\Gamma$  – коэффициент годовой неравномерности движения;  $G$  – суммарное годовое количество дорожно-транспортных происшествий на данном пересечении, определяемое по формуле

$$G = \sum_{i=1}^n q_i$$

где  $q_i$  – количество дорожно-транспортных происшествий на одной конфликтной точке;  $n$  – число конфликтных точек на пересечении.

Данный подход позволяет с достаточной точностью оценить опасность дорожного пересечения, однако, как указывается во многих работах [2-5], экспериментальная проверка уровня опасности дорожных пересечений оказывается несколько выше расчётных величин, объяснением чему может служить отсутствие в расчётах фактора оценки профессиональной пригодности водителей транспортных средств к выполнению транспортной работы.

В настоящее время подготовка водительских кадров проводится по двум составляющим: приобретению теоретических знаний и навыков практических действий при участии в дорожном движении в качестве водителя. Состояние кандидатов в водители обычно оценивается по общему состоянию здоровья, где преобладающую роль занимает работа органов зрительного и слухового восприятия, а также отсутствие состояния на учете в психиатрических и наркологических учреждениях. Однако рост интенсивности дорожного движения, уплотнение транспортных потоков, повышенный виброакустический фон создают дополнительную нагрузку на любого участника движения, в условиях чего далеко не каждый водитель или пешеход может принять и осуществить правильное решение в конкретной сложной дорожной ситуации. В качестве одной из мер повышения качества отбора кандидатов в водители могут рассматриваться системы тестирования, которые позволяют определить скорость реакции на раздражитель, а также склонность человека к выбору конкретного пути решения возникающей задачи. Однако, как показывает практическая ситуация, использование такой системы дает положительный результат при отборе профессиональных водителей в крупных автотранспортных предприятиях.

## 2 Материалы и методы

Уровень теоретической подготовки водителя при выдаче водительского удостоверения или при периодическом профессиональном переобучении можно оценить по коэффициенту теоретической готовности  $K_{\Gamma T}$ , определяемому по формуле

$$K_{\Gamma T} = \frac{n_B - n_{\text{ош}}}{n_B}$$

где  $n_B$  – количество теоретических вопросов в экзаменационном билете;  $n_{\text{ош}}$  – число ошибочных ответов в пределах выданных вопросов.

Для оценки качества вождения транспортного средства может быть использован коэффициент отсутствия нарушений  $K_{он}$ , определяемый по количеству выполняемых водителем маневров с ошибками или сознательными нарушениями относительно общего количества, совершаемого им маневров определенной единицу транспортной работы, выражаемую в единицах пути или времени, согласно формуле

$$K_{он} = \frac{n(L) - n_{ош}(L)}{n(L)}$$

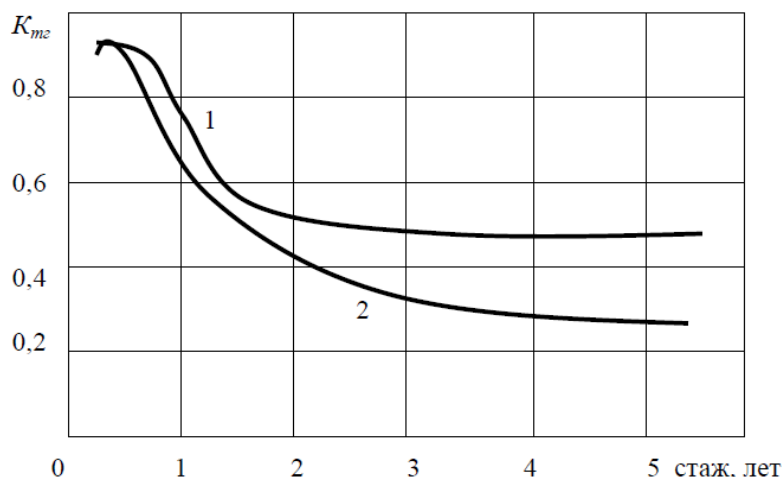
где  $n(L)$  – общее количество маневров, совершаемых водителем за единицу транспортной работы  $L$ ;  $n_{ош}(L)$  – количество маневров, сопровождаемых ошибочными действиями или нарушениями правил дорожного движения за этот же период.

В качестве совершаемых маневров могут рассматриваться проезд перекрестков, обгоны, перестроения, развороты, движение через пешеходные переходы и прочие места, где образуются конфликтные точки пересечения выбранных направлений участниками движения.

### 3 Результаты исследований

Данные исследования проводились на базе курсов профессиональной подготовки водителей транспортных средств кафедры производства, эксплуатации и ремонта машин ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», при проведении повышения квалификации водителей грузового и пассажирского состава. Контроль уровня теоретической подготовки водителей осуществлялся путём тестирования на момент поступления на переобучение с учётом возраста и стажа практической деятельности. Оценка качества вождения транспортных средств осуществлялась выборочно путём в среде водителей пассажирского транспорта, когда наблюдатель находится среди пассажиров и водитель не осведомлён о том, что его действия контролируются. При этом подконтрольная выборка водителей пассажирского транспорта составила 30 человек.

Как показали результаты исследований (рис. 1, 2) преобладающее большинство водителей транспортных средств после сдачи квалификационных экзаменов и получения водительского удостоверения концентрируют свою деятельность в направлении совершенствования практического опыта по управлению транспортным средством.



1 – контингент с высшим образованием; 2 – контингент со средним и среднетехническим образованием

Рисунок 1 – Зависимость коэффициента теоретической готовности от водительского стажа

При этом теоретическая база утрачивает актуальность и в транспортной работе водитель использует незначительную часть знаний, позволяющую ему удовлетворительно ориентироваться в дорожной обстановке, преимущественным образом путем повторения действий других участников движения. Это приводит к тому, что водитель привыкает к определенным маршрутам и установленным на них режимам движения и не испытывает при этом значительных трудностей. Однако, при незначительном изменении режима движения на известном маршруте, например, введении каких-либо ограничений, водитель, несмотря на приобретенный опыт, теряется и оказывается неспособным переработать новую информацию и принять правильное решение. При движении по незнакомому маршруту у таких водителей возникают еще большие проблемы, результатом чего можно рассматривать увеличение числа конфликтных и аварийных ситуаций. Утрата теоретических знаний водителями обнаруживается при поступлении их на курсы переобучения. По окончании такого переобучения может быть выявлена корреляция теоретических знаний и практических навыков водителей транспортных средств.

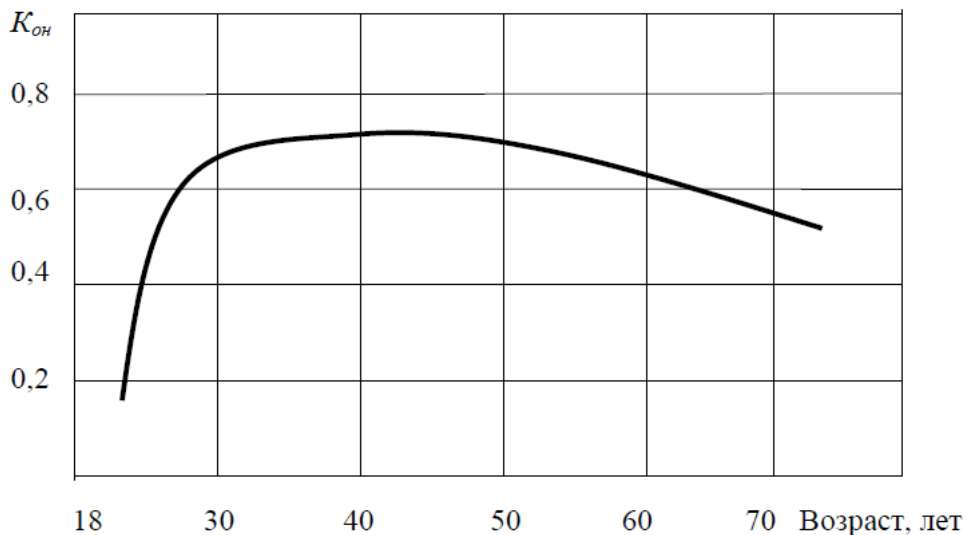


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента отсутствия нарушений от возраста водителей

Как показывают практические наблюдения, после 2 ... 3-летнего стажа в работе водителя наступает стабилизация по уровням теоретических знаний и количеству нарушений в транспортной работе. Приобретение водителем практического опыта является одним из базовых факторов обеспечения безопасности движения, однако, при этом значительная доля нарушений обусловлена утратой теоретических знаний.

Как можно заключить из многочисленных публикаций [4-22], наибольшую часть нарушений Правил дорожного движения водители совершают в, так называемый, адаптационный период, исчисляемый с момента получения водительского удостоверения до приобретения устойчивых навыков транспортной работы в течение от полугода до трех лет. Далее в работе водителя можно выделить довольно длительный период с относительно малым количеством нарушений Правил, однако с возрастом увеличивается количество ошибочных действий, связанных с естественным замедлением реакции на обработку поступающей информации.

#### 4 Обсуждение и заключение

В общем количестве нарушений водителями правил дорожного движения можно выделить следующие две разновидности:

- нарушения, связанные с ошибками в восприятии и обработке информации;
- осознанные нарушения, базирующиеся на пренебрежительном отношении к другим участникам дорожного движения и действующим нормативам.

Как показывает практика мониторинга движения транспорта на улично-дорожной сети города Воронежа, наблюдается возрастание количества нарушений второго типа и, связанных с такими нарушениями дорожно-транспортных происшествий.

В процессе квалификационных экзаменов не учитывается склонность кандидата в водители к реакции на провоцирующие действия других участников движения, к способности сдерживать себя или не реагировать на возможные провокации, поскольку от психологической стойкости водителя зависят многие факторы, определяющие безопасность дорожного движения.

Оба вида нарушений могут рассматриваться как следствие недостаточной квалификации или низкой дисциплины водителей. Усиление административной ответственности за нарушения Правил дорожного движения, в основном, способствует повышению водительской дисциплины, но не стимулирует водителей к повышению уровня теоретических знаний. Кроме этого, водители мало изучают изменения, вносимые с течением времени в редакцию Правил дорожного движения.

В качестве одной из мер по снижению нарушений, обусловленных недостаточно высокой квалификацией водителей, может быть предложено направление нарушителей на повторную сдачу квалификационных экзаменов, в том числе с предварительной переподготовкой на курсах. В пользу такого решения свидетельствует минимальное количество нарушений правил водителями автопредприятий, где с ними проводятся регулярные занятия по теоретической переподготовке. Такое решение, если и вызовет недовольство определенной части водителей, для которых уплата штрафа является наименее убыточным решением, в целом создаст предпосылки к росту водительской квалификации и снижению числа негативных явлений в дорожной обстановке, поскольку, как показывают статистические данные о дорожно-транспортных происшествиях последних лет, человеческий фактор в обеспечении безопасности дорожного движения является весьма значимым элементом.

### Список литературы

- 1 Методическое пособие по курсу подготовки специалистов по безопасности движения. – М.: ННПФ Трансколсантинг, 2000. – 360 с.
- 2 Бабков, В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения / В.Ф. Бабков // – М.: Транспорт, 1993. – 271 с.
- 3 Баранов, Ю.Н. Основы обеспечения безопасности в системе «человек – машина - среда» / Ю.Н. Баранов, А.А. Катунин, Р.В. Шкрабак, Ю.Н. Брагинец // Вестник НЦБЖД. – 2014. № 1 (19). – С. 73 ... 76.
- 4 Волков, В.С. "Расчет вероятностных оценок опасности конфликтных точек на дорожных пересечениях" / В.С. Волков, Д.Ю. Кастырин "Мир транспорта и технологических машин" № 4(55) 2016, С. 105-110.
- 5 Волков, В. С. Вероятностные оценки опасности конфликтных точек на пересечениях автомобильных дорог [Электронный ресурс] / В.С. Волков, Д.Ю. Кастырин, Е.Г. Лебедев // «Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса» - Материалы III Международной научно-технической конференции. – Донецк (25 мая 2017 г.). – С. 59 ... 63.
- 6 Клиновштейн Г. И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения. – М.: Транспорт, 1997. – 231 с.
- 7 Евтюков, С. А. Дорожно-транспортные происшествия: расследование, реконструкция, экспертиза /С.А. Евтюков, Я.В. Васильев // под ред. проф. С.А. Евтюкова.- СПб.: Изд-во ДНК, 2008. -392 с.

- 8 Живоглядов, В. Г. Теория пропуска транспортных и пешеходных потоков / В.Г. Живоглядов // Известия ВУЗов. Сев-Кав. Регион. – 2003. – 412 с.
- 9 Затворницкий, А. П. Алгоритм поиска оптимального пути в дорожной сети в условиях неопределённости [Текст] / В.Е. Межов, А.П. Затворницкий, О.Н. Черкасов // Транспортное дело России. – 2006. Т. 7. – С. 32.
- 10 Ильина, И. Е. Исследование возможности предотвращения дорожно-транспортного происшествия при использовании пограничных значений / И.Е. Ильина, В.И. Буркина // Мир транспорта и технологических машин. Орёл: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК» № 3 (50), 2015. С.77 ... 83.
- 11 Ким, П. А. Снижение риска наезда на пешеходов в условиях ограниченной видимости на нерегулируемых пешеходных переходах / П.А. Ким, С.П. Озорнин, В.Г. Масленников // Вестн. Иркутского гос. техн. ун-та, № 6(89): Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. – С. 147 – 154.
- 12 Корчагин, В. А. Классификация наземных пешеходных переходов / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин, А.В. Симаков // Вестник ИГТУ, Иркутск. 2012. – №1. – С. 103-108.
- 13 Пегин, П. А. Дорожная и психофизиологическая экспертизы дорожно-транспортных происшествий: учеб. пособие / П. А. Пегин, И. Н. Пугачев. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2008. – 106 с.
- 14 Озорнин, С. П. Обеспечение безопасности пешеходов в условиях интенсивного городского движения автотранспортных средств / С.П. Озорнин, П.А. Ким. Вестник СГТУ: Научно-технический журнал. - Саратов, 2013, № 2 (71). Вып. 2, С. 21 – 26.
- 15 Рябоконт, Ю. А. Государственное управление безопасностью дорожного движения: учебное пособие. – Омск: СибАДИ, 2013. – 280 с.
- 16 Семенов, Ю.Н. Моделирование системы «Водитель-автомобиль-дорога-среда-другие участники движения» (ВАДСУ) / Ю.Н. Семёнов, О.С. Семёнова // «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока». – 2009, № 2. – С. 15-20.
- 17 Якимов, О.Ю. Дорожно-транспортное происшествие / О.Ю. Якимов. - М.: Юрайт-Издат, 2008. - 175 с.
- 18 An Auto-tuning Assisted Power-Aware Study of Iris Matching Algorithm on Intel's SCC // Gildo Torres, Chen Liu, Jed Kao-Tung Chang, Fang Hua, Stephanie Schuckers // Journal of Signal Processing Systems, 2015. – Volume: 80, Issue 3, pp. 261-276.
- 19 Foltýn V., Šatra P.: Study of assessment of the technical feasibility and performance of safe roads in 2+1 standard in first class road network of Hradec Králové Region. AF-City Plan. Praha. 2013.
- 20 Weber R., Löhe U.: Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf auf b2+1 Strecken. Bundesanstalt für Straßenwesen. Bergisch Gladbach. 2004.
- 21 Korchagin V. A., Novikov A.N., Lyapin S.A., Rizayeva Yu. N. Complex self-developing transport systems // International journal of pharmacy and technology. 2016 Vol. 8, Issue No.3. С. 15253 – 15261.
- 22 Korchagin V. A., Lyapin S.A., Rizayeva Yu. N., Konovalova V.A. Subsystem of Road Accident Consequences Elimination. Methodology of Subsystem Efficiency Improvement // Transportation Research Procedia. 2017 Vol. 20, Issue No.3. С. 316-321.

## References

- 1 Methodical manual on the course of training specialists in traffic safety. – М.: NNPF Transcol-santing, 2000. – 360 p.
- 2 Babkov, V.F. Road conditions and traffic safety / V.F. Babkov // – М.: Transport, 1993. – 271 p.
- 3 Baranov, Yu.N. Fundamentals of security in the man-machine-on-environment system / Yu.N. Baranov, A.A. Katunin, R.V. Shkrabak, Yu.N. Braginets // Bulletin of the National Railways. – 2014. № 1 (19). – P. 73 ... 76.

- 4 Volkov, V.S. "Calculation of probabilistic assessments of the danger of conflict points at road intersections" / V.S. Volkov, D.Y. Kastrin "The world of transport and technological machines" No. 4(55) 2016, pp. 105-110.
- 5 Volkov V.S. Probabilistic assessments of the danger of conflict points at intersections of highways [Electronic resource] / V.S. Volkov, D.Y. Kastrin, E.G. Le-bedev // "Scientific and technical aspects of innovative development of the transport complex" - Materials of the III International Scientific and Technical Conference. – Donetsk (May 25, 2017). – p. 59 ... 63.
- 6 Klinkovshtein G.I., Afanasyev M.B. Organization of traffic. – M.: Transport, 1997. – 231 p.
- 7 Yevtyukov S.A., Traffic accidents: investigation, reconstruction, expertise /S.A. Evtyukov, Ya.V. Vasiliev // edited by prof. S.A. Evtyukov.- St. Petersburg: DNA Publishing House, 2008. -392 p.
- 8 Zhivoglyadov, V.G. The theory of the passage of transport and pedestrian flows / V.G. Zhivoglyadov // Izvestiya VUZov. Sev-Cav. Region. – 2003. – 412 p.
- 9 Zatornitsky, A.P. Algorithm for finding the optimal path in the road network under uncertainty [Text] / V.E. Mezhev, A.P. Zatornitsky, O.N. Cherkasov // Transport business of Russia. - 2006. Vol. 7. – p32.
- 10 Ilyina, I.E. Investigation of the possibility of preventing a traffic accident when using boundary values / I.E. Ilyina, V.I. Burkina // The world of transport and technological machines. Eagle: FGBOU VPO "Gosuniversit – UNPK" No. 3 (50), 2015. pp.77 ... 83.
- 11 Kim, P.A. Reducing the risk of hitting pedestrians in conditions of limited visibility at unregulated pedestrian crossings / P.A. Kim, S.P. Ozornin, V.G. Maslennikov // Vestn. Irkutsk State Technical University. University, No. 6(89): Irkutsk: Publishing House of IrSTU, 2014. – pp. 147 – 154.
- 12 Korchagin, V.A. Classification of land pedestrian crossings / V.A. Korchagin, V.E. Klyavin, A.V. Simakov // Bulletin of IGTU, Irkutsk. 2012. No. 1. pp. 103-108.
- 13 Pegin, P. A. Road and psychophysiological examination of road accidents: studies. manual / P. A. Pegin, I. N. Pugachev. – Khabarovsk: Publishing House of the Pacific State University, 2008. – 106 p.
- 14 Ozornin, S.P. Ensuring pedestrian safety in conditions of intensive urban traffic of motor vehicles / S.P. Ozornin, P.A. Kim. Bulletin of SSTU: Scientific and Technical Journal. - Saratov, 2013, No. 2 (71). Issue 2, pp. 21-26.
- 15 Ryabokon, Yu.A. State Management of road traffic safety: a textbook. – Omsk: SibADI, 2013. – 280 p.
- 16 Semenov, Yu.N. Modeling of the system "Driver-car-road-environment-other traffic participants" (VADSU) / Yu.N. Semenov, O.S. Semenova // "Scientific problems of transport in Siberia and the Far East". - 2009, No. 2. – pp. 15-20.
- 17 Yakimov, O.Yu. Traffic accident / O.Yu. Yakimov. - M.: Yurayt-Izdat, 2008. - 175 p.
- 18 An Auto-tuning Assisted Power-Aware Study of Iris Matching Algorithm on Intel's SCC // Gildo Torres, Chen Liu, Jed Kao-Tung Chang, Fang Hua, Stephanie Schuckers // Journal of Signal Processing Systems, 2015. – Volume: 80, Issue 3, pp. 261-276.
- 19 Foltýn V., Šatra P.: Study of assessment of the technical feasibility and performance of safe roads in 2+1 standard in first class road network of Hradec Králové Region. AF-City Plan. Praha. 2013.
- 20 Weber R., Löhe U.: Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf auf b2+1 Strecken. Bundesanstalt für Straßenwesen. Bergisch Gladbach. 2004.
- 21 Korchagin V. A., Novikov A.N., Lyapin S.A., Rizayeva Yu. N. Complex self-developing transport systems // International journal of pharmacy and technology. 2016 Vol. 8, Issue No.3. C. 15253 – 15261.
- 22 Korchagin V. A., Lyapin S.A., Rizayeva Yu. N., Konovalova V.A. Subsystem of Road Accident Consequences Elimination. Methodology of Subsystem Efficiency Improvement // Transportation Research Procedia. 2017 Vol. 20, Issue No.3. C. 316-321.