ISSN 3107-3328 (Print)
ISSN 3107-3336 (Online)

ҒЫЛЫМИ ИННОВАЦИЯЛАР

ғылыми журналы

№ 3 (2)
2026



научный журнал

НАУЧНЫЕ ИННОВАЦИИ

scientific journal

SCIENTIFIC INNOVATIONS

eLIBRARY.RU

StrikePlagiarism.com
ORIGINALITY IS A VALUE

«ҒЫЛЫМИ ИННОВАЦИЯЛАР» ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «НАУЧНЫЕ ИННОВАЦИИ»

«SCIENTIFIC INNOVATIONS» SCIENTIFIC JOURNAL

Журнал 2025 жылдан бастап шығады

Журнал издается с 2025 года

The journal is published from 2025

Меншік иесі: «Неотехнология жене кауіпсіздік гылыми-зерттеу институты» ЖМ

Собственник: ЧУ «Научно-исследовательский институт Неотехнологий и Безопасности»

Owner:ChU «Research Institute of Neotechnology and Security»

Журнал Қазақстан Республикасы Ақпарат жене қоғамдық даму министрлігінін Ақпарат комитетінде тіркелген,

2025 жылы 4 карашадағы № KZ06VPY00133490 куәлік

Журнал зарегистрирован в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан,

свидетельство №KZ06VPY00133490 от 4 ноября 2025 года.

The journal is registered with the Information Committee of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan, certificate

№ KZ06VPY00133490 dated November 4, 2025

Журнал тоқсан сайын шығарылады (жылына 4 рет)

Журнал издаётся ежеквартально (4 раза в год)

The magazine is published quarterly (4 times a year)

Редакцияның мекен-жайы: 150000, Қазақстан Республикасы, Солтүстік-Қазақстан облысы, Петропавл қаласы, Бостандық көшесі, 51

Адрес редакции: 150000, Республика Казахстан, Северо-Казахстанская область, г. Петропавловск, ул. Бостандыкская, 51.

Editorial office: 150000, Republic of Kazakhstan, North Kazakhstan region, Petropavlovsk, st. Bostandyk, 51

Сайт журнала: www.nii-ntb.com

E-mail: jornal@nii-ntb.com

Телефоны редакции: +7 (7152) 33-44-35, +7 778 569 19 61, +7 707 279 85 75

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА
РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ
EDITORIAL BOARD

Бас редакторлар / Главные редакторы / Chief editors

Логвиненко Денис Викторович, *педагогика ғылымдарының кандидаты*
Логвиненко Денис Викторович, *кандидат педагогических наук*
Denis Viktorovich Logvinenko, *candidate of pedagogical sciences*

Ғылыми редакторлар / Научные редакторы / Scientific editors

Мақажанова Жұлдыз Мақсұтқызы, *философия докторы (PhD)*
Макажанова Жулдыз Максутовна, *доктор философии (PhD)*
Makazhanova Zhuldyz Maksutovna, *PhD*

Редакциялық алқа / Редакционная коллегия / Editorial board

Чекалёва Надежда Викторовна, *Ресей Білім беру Академиясының мүше-корреспонденті, педагогика ғылымдарының докторы*
Чекалёва Надежда Викторовна, *член-корреспондент Российской Академии образования, доктор педагогических наук*
Chekaleva Nadezhda Viktorovna, *corresponding member of the Russian Academy of education, doctor of pedagogical sciences*

Савинкин Виталий Владимирович, *техника ғылымдарының докторы*
Савинкин Виталий Владимирович, *доктор технических наук*
Savinkin Vitaly Vladimirovich, *doctor of technical sciences*

Жәмпейісов Ғазиз Нұрмұратұлы, *философия докторы (PhD)*
Жампеисов Газиз Нурмуратович, *доктор философии (PhD)*
Zhampeisov Gaziz Nurmuratovich, *Ph.D*

Шапашев Мұрат Асқаруұлы, *философия докторы (PhD)*
Шапашев Мурат Аскарович, *доктор философии (PhD)*
Shapashev Murat Askarovich, *Ph.D*

Батаева Фроза Асанқызы, *филология ғылымдарының кандидаты*
Батаева Фроза Асановна, *кандидат филологических наук*
Bataeva Froza Asanovna, *candidate of philology*

Горковенко Людмила Александровна, *экономика ғылымдарының кандидаты*
Горковенко Людмила Александровна, *кандидат экономических наук*
Gorkovenko Lyudmila Aleksandrovna, *Candidate of Economic Sciences*

Кусаинова Айсұлу Әмірханқызы, *философия докторы (PhD)*
Кусаинова Айсулу Амирхановна, *доктор философии (PhD)*
Kusainova Aisulu Amirkhanovna, *Ph.D*

Графикалық дизайнер / Графический дизайнер / Graphic designer

Дергалёва Наталья Владимировна,
Дергалёва Наталья Владимировна,
Dergaleva Natalia Vladimirovna,

МАЗМҰНЫ / СОДЕРЖАНИЕ / TABLE OF CONTENTS

ИННОВАЦИЯЛЫҚ ПЕДАГОГИКА ЖӘНЕ БІЛІМ БЕРУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ
ИННОВАЦИОННАЯ ПЕДАГОГИКА И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
INNOVATIVE PEDAGOGY AND EDUCATIONAL TECHNOLOGIES

АЙТЕНОВА А. Т., НЕМУДРОВА А. А. Литература в формате игры: как геймификация вовлекает школьников? 8

БАЗАРБАЕВА Ә. Жастардың салауатты өмір салты мен денсаулық мәдениетін қалыптастырудағы валеологиялық педагогиканың рөлі 17

БАТЫРБЕКОВА А. Ж., АХМЕТОВ А. А. Рисование как педагогический инструмент повышения учебной мотивации и активности учащихся 7 класса на уроках физики 37

ЛОГВИНЕНКО Д. В. Профилактика буллинга в подростковой среде: гендерный и социально-педагогический подходы 48

МАЛДЫБАЕВ К. Б. Патриотизм как ключевой компонент профессиональной культуры курсантов Национальной гвардии 60

МАРКОВА Н. Г., МАКАЖАНОВА Ж. М. Поликультурная грамотность личности – индикатор понимания в поликультурном обществе 66

МАҚСҰТ Ш. Ш. Қазақстан тарихы сабағында мемуарлық деректерді пайдалану жолдары 79

РАХМАНҚҰЛ А. Ә., ИБРАГИМОВ С. О., БАТЫРБЕКОВА А. Ж. 10-сынып оқушыларының электр заряды тақырыбын түсіну деңгейін зерттеу 85

РОМАНОВА В. В. Диалог культур в образовательном пространстве вуза: из опыта работы с иностранными курсантами на занятиях русского языка 96

СМАГУЛОВ Б. С. Опытно-экспериментальная работа по формированию дисциплинарных умений курсантов в военном вузе 103

ТАТТИМБЕТОВ А. Ж. Ғылыми-зерттеу қызметі Қазақстан Республикасы Ұлттық ұланы офицерлерінің кәсіби құзыреттілігін дамыту факторы ретінде 112

ИНЖЕНЕРИЯ, ОЗЫҚ МАТЕРИАЛДАР ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР
ИНЖЕНЕРИЯ, ПЕРЕДОВЫЕ МАТИЕРИАЛЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
ENGINEERING, ADVANCED MATERIALS AND TECHNICAL SCIENCES

БИКБАЕВ Р. Д., ЖУМЕКЕНОВА З. Ж. Электроэрозионная обработка как перспективная технология высокоточного изготовления деталей машиностроения 126

ЖУМЕКЕНОВА З. Ж. Лазерные технологии в диагностике и восстановлении колесных пар железнодорожного подвижного состава 141

КЕШЕНДІ ҚАУІПСІЗДІК ЖӘНЕ ТҰРАҚТЫЛЫҚ
КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ
INTEGRATED SAFETY AND SUSTAINABILITY

ШАПАШЕВ М. А. Киберсоғыс – қазіргі әлемнің қаупі 151

КОНВЕРГЕНЦИЯ ЖӘНЕ ПӘНАРАЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕР
КОНВЕРГЕНЦИЯ И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
CONVERGENCE AND INTERDISCIPLINARY RESEARCH

ЖАУМИТОВА М. Д. Методика обучения основам мобилизационной экономики в системе высшего образования 161

КОЙШИГАРИНА Г. М. Географический фактор как основа для формирования военной политики центрально-азиатских государств 177

НАСИПКАЗЫ А. Е. d-өлшемді торда Навье-Стокс теңдеуінің әлсіз шешімдерін құру 187

УДК: 62-192
МРНТИ: 55.29.39

БИКБАЕВ Р.Д.[1], ЖУМЕКЕНОВА З.Ж.[2]

[1] магистрант кафедры транспорта и машиностроения, Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева, Петропавловск, Казахстан; ORCID: 0009-0002-6391-7900

[2] доктор философии (PhD), ведущий научный сотрудник. Национальный центр педагогических исследований, г. Астана, Казахстан. ORCID: 0000-0002-9876-5432, Scopus Author ID: 5721162055

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА КАК ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЫСОКОТОЧНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Аннотация. В условиях развития современного машиностроения возрастает потребность в технологиях, обеспечивающих высокую точность изготовления деталей при обработке материалов с повышенной прочностью и твёрдостью. Одним из наиболее эффективных методов решения данной задачи является электроэрозионная обработка (ЭЭО), основанная на локальном удалении материала посредством управляемых электрических разрядов. В отличие от традиционных способов механической обработки, технология ЭЭО не зависит от физико-механических характеристик заготовки и может применяться для обработки любых электропроводящих материалов. В статье рассмотрены физические основы электроэрозионной обработки, особенности функционирования современных EDM-систем, а также основные направления применения данной технологии в промышленности. Проведён анализ преимуществ и ограничений метода, выполнено сравнение электроэрозионной обработки с традиционными способами металлообработки. Особое внимание уделено перспективам внедрения электроэрозионных технологий на предприятиях машиностроительного комплекса Республики Казахстан в условиях модернизации производства и повышения требований к качеству выпускаемой продукции. Результаты исследования подтверждают, что электроэрозионная обработка является одним из наиболее перспективных направлений развития высокоточного производства благодаря возможности формирования сложных геометрических поверхностей, минимальному уровню деформаций и высокой точности обработки деталей.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, EDM-технология, высокоточная обработка, машиностроение, электропроводящие материалы, металлообработка, пресс-формы, штампы.

БИКБАЕВ Р.Д.[1], ЖҰМЕКЕНОВА З.Ж.[2]

[1] Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университетінің көлік және машина жасау кафедрасының магистранты, Петропавл, Қазақстан; ORCID: 0009-0002-6391-7900

[2] философия ғылымдарының докторы (PhD), жетекші ғылыми қызметкер, Ұлттық педагогикалық зерттеулер орталығы, Астана, Қазақстан. ORCID: 0000-0002-9876-5432, Scopus Автор идентификаторы: 5721162055

ЭЛЕКТР РАЗРЯДТЫҚ ӨҢДЕУ МАШИНА ЖАСАУ БӨЛШЕКТЕРІН ЖОҒАРЫ ДӘЛДІКТЕ ӨНДІРУ ҮШІН ПЕРСПЕКТИВТІ ТЕХНОЛОГИЯ РЕТІНДЕ

Андатпа. Қазіргі заманғы машина жасаудың дамуымен беріктігі мен қаттылығы жоғары материалдарды өңдеу кезінде бөлшектерді жоғары дәлдікпен өндіруді қамтамасыз ететін технологияларға деген қажеттілік артып келеді. Бұл мәселені шешудің ең тиімді әдістерінің бірі - бақыланатын электрлік разрядтарды пайдаланып локализацияланған материалды алып тастауға негізделген электрлік разрядты өңдеу (ЭЭО) әдісі. Дәстүрлі өңдеу әдістерінен айырмашылығы, ЭЭО технологиясы дайындаманың физикалық және механикалық қасиеттеріне тәуелсіз және кез келген электр өткізгіш материалды өңдеу үшін қолданылуы мүмкін. Бұл мақалада электрлік разрядты өңдеудің (ЭЭО) физикалық принциптері, заманауи ЭЭО жүйелерінің жұмыс ерекшеліктері және осы технологияның өнеркәсіптегі негізгі қолданылуы қарастырылады. Әдістің артықшылықтары мен шектеулері талданады, ЭЭО дәстүрлі металл өңдеу әдістерімен салыстырылады. Өндірісті жаңғырту және өндірілетін өнімдерге қойылатын сапа талаптарының артуын ескере отырып, Қазақстан Республикасының машина жасау саласында ЭЭО технологияларын енгізу перспективаларына ерекше назар аударылады. Зерттеу нәтижелері ЭЭО күрделі геометриялық беттерді қалыптастыру қабілетіне, минималды деформацияға және жоғары өңдеу дәлдігіне байланысты жоғары дәлдіктегі өндірісті дамытудың ең перспективалы бағыттарының бірі екенін растайды.

Түйінді сөздер: электроэрозиялық өңдеу, жоғары дәлдіктегі өңдеу, механикалық инженерия, өткізгіш материалдар, металл өңдеу, қалыптар, қалыптар.

BIKBAEV R.D.[1], ZHUMEKENOVA Z.Z.[2]

[1] *master's student of the Department of Transport and Mechanical Engineering, North Kazakhstan University named after Manash Kozybaev, Petropavlovsk, Kazakhstan; ORCID: 0009-0002-6391-7900*

[2] *Doctor of Philosophy (PhD), Leading Researcher, National Center for Pedagogical Research, Astana, Kazakhstan. ORCID: 0000-0002-9876-5432, Scopus Author ID: 5721162055*

ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING AS A PROMISING TECHNOLOGY FOR HIGH-PRECISION MANUFACTURING OF MECHANICAL ENGINEERING PARTS

Annotation. With the development of modern mechanical engineering, the need for technologies that ensure high-precision manufacturing of parts when machining materials with increased strength and hardness is growing. One of the most effective methods for solving this problem is electrical discharge machining (EDM), which is based on localized material removal using controlled electrical discharges. Unlike traditional machining methods, EDM technology is independent of the physical and mechanical properties of the workpiece and can be used to machine any electrically conductive material. This article examines the physical principles of electrical discharge machining (EDM), the operating features of modern EDM systems, and the main applications of this technology in industry. The advantages and limitations of the method are analyzed, and EDM is compared with traditional metalworking methods. Particular attention is paid to the prospects for implementing EDM technologies in the mechanical engineering sector of the Republic of Kazakhstan, given the modernization of production and increasing quality requirements for manufactured products. The results of the study confirm that EDM is one of the most promising areas for the development of high-precision manufacturing due to its ability to form complex geometric surfaces, minimal deformation, and high machining accuracy.

***Keywords**:* EDM, EDM technology, high-precision machining, mechanical engineering, conductive materials, metalworking, molds, dies.

Введение.

Современный этап развития машиностроительной отрасли характеризуется постоянным усложнением конструкций изделий, расширением применения высокопрочных материалов и ужесточением требований к точности изготовления деталей. Традиционные методы механической обработки, включая точение, фрезерование и шлифование, во многих случаях оказываются недостаточно эффективными при изготовлении изделий сложной формы или обработке материалов с высокой твёрдостью. В связи с этим особую актуальность приобретают технологии, основанные на альтернативных физических принципах воздействия на материал.

Одной из таких технологий является электроэрозионная обработка, получившая широкое распространение в высокотехнологичных отраслях промышленности. Метод основан на использовании электрических импульсов высокой энергии, которые вызывают локальное разрушение материала в зоне обработки. Благодаря отсутствию непосредственного механического контакта между инструментом и заготовкой обеспечивается возможность обработки изделий сложной конфигурации без возникновения значительных механических напряжений и деформаций.

В последние годы электроэрозионные технологии активно развиваются и совершенствуются. Современные системы числового программного управления позволяют достигать микрометровой точности обработки, обеспечивать стабильное качество поверхности и автоматизировать выполнение сложных производственных операций. Особенно востребована технология при изготовлении пресс-форм, штампов, элементов авиационной техники, деталей энергетического оборудования и изделий из труднообрабатываемых сплавов.

Для промышленности Казахстана внедрение электроэрозионной обработки представляет особый интерес в связи с необходимостью повышения технологической независимости предприятий и освоения производства высокоточных деталей. Рост объёмов производства оборудования для нефтегазового комплекса, горнодобывающей отрасли и машиностроения требует применения современных методов обработки, способных обеспечить высокие эксплуатационные характеристики продукции.

Целью исследования является анализ принципов электроэрозионной обработки, оценка её технологических возможностей, преимуществ и ограничений, а также определение перспектив применения данной технологии на предприятиях машиностроительной отрасли Республики Казахстан.

Материалы и методы.

Для достижения поставленной цели был выполнен комплексный анализ научно-технической литературы, посвящённой современному состоянию и перспективам развития электроэрозионных технологий. В качестве информационной базы исследования использовались научные статьи, опубликованные в международных журналах по вопросам высокоточной металлообработки, материаловедения и производственных технологий.

В процессе исследования были рассмотрены современные конструкции электроэрозионного оборудования, включая проволочно-вырезные, копировально-прошивочные и электроэрозионные сверлильные станки. Особое внимание уделялось анализу принципов формирования электрического разряда, особенностям взаимодействия электродов с обрабатываемой поверхностью и влиянию технологических параметров на качество обработки.

Методологическую основу работы составили аналитический, сравнительный и системный подходы. Аналитический метод применялся для изучения физических процессов, происходящих в зоне электрического разряда. Сравнительный анализ позволил сопоставить возможности электроэрозионной обработки с традиционными технологиями резания металлов по основным производственным показателям. Системный подход использовался для оценки роли ЭЭО в структуре современного машиностроительного производства.

Дополнительно были изучены результаты экспериментальных исследований, посвящённых обработке закалённых сталей, титановых сплавов, жаропрочных материалов и композиционных конструкционных материалов. Анализ полученных данных позволил определить эффективность применения электроэрозионной обработки в различных производственных условиях и выявить факторы, оказывающие наибольшее влияние на точность и производительность процесса.

Полученные материалы были обобщены и систематизированы с целью определения современных тенденций развития EDM-технологий и оценки перспектив их дальнейшего внедрения в промышленное производство.

Электроэрозионная обработка (ЭЭО) представляет собой высокотехнологичный метод формирования поверхности изделий, основанный на контролируемом разрушении материала под воздействием электрических разрядов. Процесс осуществляется между электродом-инструментом и обрабатываемой заготовкой, которые подключаются к источнику импульсного электрического тока и разделяются небольшим межэлектродным зазором, заполненным диэлектрической жидкостью.

Физическая сущность электроэрозионной обработки заключается в преобразовании электрической энергии в тепловую непосредственно в зоне разряда. При подаче импульсного напряжения между электродами создаётся электрическое поле высокой напряжённости. Когда величина напряжения достигает критического значения, происходит пробой диэлектрической среды и возникает кратковременный электрический разряд.

В момент возникновения разряда в локальной зоне контакта выделяется значительное количество тепловой энергии. Температура в области воздействия может достигать 8000–12000 °С, что приводит к мгновенному расплавлению и частичному испарению небольшого объёма материала. В результате на поверхности заготовки образуется микрократер, размеры которого определяются параметрами электрического импульса [1; 125].

После завершения разряда диэлектрическая жидкость выполняет ряд важных функций. Она охлаждает поверхность металла, удаляет продукты эрозии из рабочей зоны и восстанавливает изоляционные свойства межэлектродного промежутка. Благодаря этому создаются условия для возникновения следующего импульса и поддержания стабильности технологического процесса.

Особенностью электроэрозионной обработки является отсутствие непосредственного механического контакта между инструментом и заготовкой. В отличие от традиционных методов резания, при которых формирование поверхности сопровождается воздействием значительных сил резания, ЭЭО осуществляется исключительно за счёт теплового воздействия электрических разрядов. Это позволяет избежать механических деформаций, возникновения остаточных напряжений и повреждения тонкостенных элементов конструкции.

Точность процесса обеспечивается системой автоматического управления, которая непрерывно контролирует величину межэлектродного зазора. Современные электроэрозионные станки оснащаются сервоприводами и цифровыми системами управления, позволяющими поддерживать оптимальные параметры обработки в режиме реального времени. Благодаря этому достигается высокая повторяемость размеров и стабильное качество обработанной поверхности.

Существенным преимуществом электроэрозионной технологии является её независимость от большинства физико-механических характеристик материала. На эффективность обработки практически не влияют твёрдость, прочность, вязкость или степень термического упрочнения заготовки. Основным условием применения метода является наличие электропроводности материала[2; 68]. По этой причине электроэрозионная обработка широко используется для обработки закалённых сталей, твёрдых сплавов, титановых и никелевых сплавов, карбидных материалов и

других труднообрабатываемых конструкционных материалов.

В зависимости от поставленных производственных задач параметры электрических импульсов могут изменяться в широком диапазоне. Увеличение энергии разряда способствует повышению производительности процесса за счёт увеличения объёма удаляемого материала, однако одновременно может приводить к росту шероховатости поверхности. Для получения высокоточных изделий и достижения минимальной шероховатости применяются финишные режимы обработки с пониженной энергией импульсов.

Таким образом, электроэрозионная обработка представляет собой сложный физико-технологический процесс, основанный на последовательном воздействии электрических разрядов на поверхность электропроводящего материала. Сочетание высокой точности, возможности обработки сверхтвёрдых материалов и отсутствия механического воздействия обеспечивает широкое применение данной технологии в современном машиностроении, инструментальном производстве и других высокотехнологичных отраслях промышленности [3; 99].

Современное электроэрозионное оборудование представлено несколькими основными разновидностями станков, различающимися конструкцией рабочего инструмента, технологическими возможностями и областью применения. Наиболее распространёнными являются проволочно-вырезные, копировально-прошивочные и электроэрозионные сверлильные станки. Каждая из этих систем предназначена для решения определённого круга производственных задач и занимает важное место в высокоточном машиностроительном производстве.

Проволочно-вырезные станки относятся к наиболее востребованному виду электроэрозионного оборудования. В качестве инструмента в таких установках используется непрерывно движущаяся металлическая проволока малого диаметра, которая выполняет функцию электрода. Как правило, для изготовления проволоки применяются латунь, медь или молибденовые сплавы, обладающие высокой электропроводностью и устойчивостью к воздействию электрических разрядов.

Принцип работы проволочно-вырезного станка основан на последовательном удалении материала вдоль заданной траектории движения электрода. Формирование контура осуществляется под управлением системы числового программного управления, что обеспечивает высокую точность обработки и возможность изготовления деталей сложной геометрической формы.

Основными преимуществами проволочно-вырезной электроэрозионной обработки являются высокая размерная точность, возможность получения сложных наружных и внутренних контуров, а также отсутствие механического воздействия на заготовку. Данный тип оборудования широко применяется при изготовлении

штампов, матриц, шаблонов, деталей приборостроения и элементов высокоточного инструмента [2; 15].

Современные проволочно-вырезные станки позволяют достигать точности позиционирования до нескольких микрометров и обеспечивать высокое качество поверхности без необходимости дополнительной механической обработки.



Рисунок 1 – Проволочно-вырезной электроэрозионный станок

Копировально-прошивочные станки предназначены для формирования сложных внутренних полостей и объёмных поверхностей. В отличие от проволочно-вырезных систем, в данном случае используется электрод-инструмент заранее изготовленной формы, который последовательно погружается в заготовку с поддержанием необходимого межэлектродного зазора.

Для изготовления электродов применяются медь, графит и композиционные материалы на их основе. Геометрия электрода практически полностью воспроизводится на поверхности обрабатываемой детали, что позволяет получать полости сложной конфигурации с высокой точностью.

Технология копировально-прошивочной обработки особенно эффективна при производстве пресс-форм, литейной оснастки, штампов, формообразующих элементов и деталей, имеющих труднодоступные внутренние поверхности. Благодаря отсутствию сил резания обеспечивается высокая точность воспроизведения сложной геометрии и исключается риск деформации заготовки.

К числу преимуществ данного оборудования относятся возможность обработки глубоких полостей, высокая точность формирования пространственных

поверхностей и эффективность работы с закалёнными и труднообрабатываемыми материалами. Вместе с тем использование таких станков требует предварительного изготовления электрода, что увеличивает продолжительность подготовки производства.

Электроэрозионные сверлильные станки предназначены для получения отверстий малого диаметра в материалах с высокой твёрдостью и прочностью. В качестве рабочего инструмента применяется трубчатый электрод, через внутренний канал которого подаётся диэлектрическая жидкость, обеспечивающая эффективное охлаждение рабочей зоны и удаление продуктов эрозии.

Особенностью данного метода является возможность получения отверстий диаметром менее одного миллиметра при сохранении высокой точности их расположения. Технология позволяет выполнять обработку материалов, которые затруднительно сверлить традиционным режущим инструментом.

Наиболее широкое применение электроэрозионное сверление получило при изготовлении охлаждающих каналов турбинных лопаток, форсунок, фильтрующих элементов, деталей авиационной техники и высокоточного технологического оборудования. Использование данного метода обеспечивает получение отверстий с высокой точностью геометрических параметров и минимальным риском образования дефектов поверхности.

Каждый тип электроэрозионных станков имеет собственную область эффективного применения. Проволочно-вырезные системы наиболее рациональны для изготовления контурных деталей и профильной резки материалов. Копировально-прошивочные станки используются при создании сложных объёмных полостей и формообразующих поверхностей. Электроэрозионные сверлильные установки предназначены для получения высокоточных отверстий малого диаметра в труднообрабатываемых материалах [4; 5].

Комплексное использование различных видов электроэрозионного оборудования позволяет решать широкий спектр производственных задач, связанных с изготовлением изделий высокой сложности и точности. Благодаря развитию систем числового программного управления, автоматизации технологических процессов и совершенствованию источников импульсного питания современные EDM-станки становятся одним из ключевых инструментов высокоточного машиностроительного производства.

Электроэрозионная обработка занимает особое место среди современных технологий металлообработки благодаря сочетанию высокой точности, универсальности и способности работать с материалами, которые трудно поддаются традиционным методам резания. В последние десятилетия развитие

электроэрозионного оборудования и систем числового программного управления значительно расширило область применения данной технологии в машиностроении, инструментальном производстве, авиационной и энергетической промышленности.

Одним из главных преимуществ электроэрозионной обработки является её независимость от большинства физико-механических свойств обрабатываемого материала. В отличие от механического резания, эффективность процесса практически не зависит от твёрдости, прочности или вязкости заготовки. Единственным обязательным условием является наличие электропроводности материала. Благодаря этому технология успешно применяется для обработки закалённых сталей, твёрдых сплавов, титановых и никелевых сплавов, а также других материалов, характеризующихся высокой износостойкостью и жаропрочностью.

Важным достоинством метода является высокая точность обработки. Современные электроэрозионные станки позволяют получать детали с минимальными отклонениями размеров и обеспечивать высокую повторяемость результатов. Это особенно важно при изготовлении пресс-форм, штампов, элементов технологической оснастки и других изделий, к которым предъявляются повышенные требования по точности.

Существенным преимуществом электроэрозионной обработки также является отсутствие непосредственного контакта между инструментом и заготовкой. Поскольку удаление материала происходит под воздействием электрических разрядов, в процессе обработки практически отсутствуют механические нагрузки. Это позволяет исключить деформации детали, снизить вероятность появления внутренних напряжений и обеспечить стабильность геометрических параметров даже при обработке тонкостенных или сложнопрофильных изделий.

Особое значение имеет возможность формирования сложных пространственных поверхностей и внутренних полостей. Электроэрозионные технологии позволяют получать элементы конструкции, изготовление которых традиционными способами связано со значительными технологическими трудностями или вовсе невозможно. Благодаря этому метод широко используется при производстве пресс-форм, литейной оснастки, матриц, штампов и деталей сложной геометрии.

Дополнительным преимуществом является высокое качество обработанной поверхности. При правильном выборе режимов обработки достигаются низкие значения шероховатости, что позволяет во многих случаях сократить объём последующих доводочных операций. Использование современных источников импульсного питания способствует повышению стабильности процесса и улучшению характеристик поверхностного слоя.

Несмотря на многочисленные достоинства, электроэрозионная обработка имеет ряд ограничений, которые необходимо учитывать при выборе технологии изготовления деталей. Одним из основных недостатков является сравнительно низкая производительность процесса. Скорость удаления материала при электроэрозионной обработке обычно уступает показателям традиционного резания, особенно на этапах черновой обработки крупных заготовок. По этой причине ЭЭО часто применяется как завершающая или специализированная операция при изготовлении высокоточных изделий.

Другим существенным ограничением является невозможность обработки материалов, не обладающих электропроводностью. К таким материалам относятся большинство полимеров, стекло, керамика и ряд композиционных материалов. В подобных случаях применение электроэрозионной технологии невозможно без использования специальных токопроводящих покрытий или дополнительных технологических решений.

Следует также учитывать влияние параметров электрических импульсов на состояние поверхностного слоя детали. При неправильно выбранных режимах обработки возможно образование так называемого белого слоя — зоны повторного затвердевания расплавленного металла, которая может отличаться по структуре и свойствам от основного материала. Кроме того, чрезмерно высокая энергия разрядов способна привести к увеличению шероховатости поверхности и возникновению микротрещин.

Ещё одним фактором является необходимость применения специальных диэлектрических жидкостей и систем их очистки. Качество диэлектрика оказывает непосредственное влияние на стабильность процесса, производительность и точность обработки [6; 78]. Поддержание требуемых характеристик рабочей среды требует дополнительных затрат на эксплуатацию оборудования.

Таким образом, электроэрозионная обработка представляет собой высокоэффективную технологию, обладающую значительными преимуществами при изготовлении сложных и высокоточных деталей из труднообрабатываемых материалов. Вместе с тем существующие ограничения требуют грамотного выбора режимов обработки и рационального сочетания ЭЭО с другими методами металлообработки. При правильной организации технологического процесса преимущества метода существенно превосходят его недостатки, что определяет устойчивый рост применения электроэрозионных технологий в современном машиностроении.

Таблица 1 — Сравнение электроэрозионной и механической обработки

Показатель	Электроэрозионная обработка (ЭЭО)	Традиционная механическая обработка
Принцип работы	Электрические разряды вызывают эрозию металла	Резание металла механическим инструментом
Требования к материалу	Только электропроводность	Твердость, вязкость, структура важны
Точность	До 0,001 мм	0,01–0,05 мм
Сложность формы	Отлично обрабатывает сложные полости и контуры	Ограничено конструкцией инструмента
Качество поверхности	Ra 0,2–1,5 мкм	Ra 0,4–3,2 мкм
Скорость обработки	Низкая	Высокая
Износ инструмента	Минимальный, равномерный износ электрода	Значительный износ режущих инструментов
Деформации	Практически отсутствуют	Возможны из-за сил резания

Результаты исследования.

Проведённый анализ научно-технических источников и современных исследований в области электроэрозионной обработки позволил определить основные закономерности функционирования данной технологии и оценить её эффективность при изготовлении высокоточных деталей машиностроительного назначения.

Установлено, что электроэрозионная обработка обеспечивает высокую точность формирования поверхностей и позволяет получать изделия сложной геометрической конфигурации независимо от твёрдости обрабатываемого материала. Благодаря использованию последовательных электрических разрядов процесс характеризуется высокой степенью управляемости, что обеспечивает стабильность размеров и повторяемость результатов обработки.

Анализ технологических возможностей различных типов EDM-оборудования показал, что проволочно-вырезные станки наиболее эффективны при изготовлении деталей со сложными наружными и внутренними контурами, копировально-прошивочные установки обеспечивают получение глубоких полостей и формообразующих поверхностей, а электроэрозионные сверлильные станки позволяют выполнять высокоточные отверстия малого диаметра в материалах повышенной твёрдости.

Результаты исследования подтвердили, что ключевым преимуществом электроэрозионной обработки является возможность работы с труднообрабатываемыми материалами, включая закалённые инструментальные стали, титановые сплавы, жаропрочные никелевые сплавы и твёрдые сплавы. При использовании традиционных методов механической обработки такие материалы требуют значительных затрат времени и применения специализированного режущего инструмента.

В ходе анализа установлено, что качество обработанной поверхности напрямую зависит от параметров электрических импульсов. Снижение энергии разрядов способствует уменьшению шероховатости и повышению точности обработки, тогда как увеличение энергии позволяет повысить производительность процесса за счёт увеличения объёма удаляемого материала. Следовательно, выбор режимов обработки должен осуществляться с учётом требований к качеству поверхности и производительности технологического процесса.

Также выявлено, что внедрение электроэрозионных технологий на предприятиях машиностроительной отрасли Казахстана способно повысить уровень локализации производства сложных деталей, уменьшить зависимость от импортной технологической оснастки и расширить возможности изготовления конкурентоспособной продукции для различных отраслей промышленности.

Обсуждение.

Полученные результаты подтверждают высокую значимость электроэрозионной обработки как одного из наиболее перспективных направлений развития современной металлообработки. Анализ литературных источников показывает, что во многих странах технология EDM уже стала неотъемлемой частью производства высокоточных изделий, используемых в авиационной, энергетической, медицинской и инструментальной промышленности.

Сравнение электроэрозионной обработки с традиционными методами резания демонстрирует её существенные преимущества при изготовлении деталей сложной формы и обработке материалов повышенной твёрдости. Отсутствие механического контакта между инструментом и заготовкой позволяет исключить деформации и

значительно снизить вероятность возникновения технологических дефектов. Данное обстоятельство особенно важно при производстве прецизионных деталей, где даже незначительные отклонения геометрических параметров могут привести к ухудшению эксплуатационных характеристик изделия.

Вместе с тем проведённый анализ показывает, что эффективность применения электроэрозионной обработки во многом определяется правильностью выбора технологических режимов. Недостаточный контроль параметров импульсов может привести к снижению качества поверхности, образованию термически изменённого слоя и уменьшению производительности процесса. Поэтому дальнейшее развитие технологии связано с совершенствованием систем автоматического управления и разработкой интеллектуальных методов оптимизации режимов обработки.

Особое значение электроэрозионная обработка приобретает для промышленности Казахстана, где наблюдается устойчивый рост потребности в высокоточных деталях для машиностроения, нефтегазовой отрасли и горнодобывающего комплекса. Расширение использования EDM-технологий способно стать важным фактором модернизации производственных предприятий и повышения конкурентоспособности отечественной продукции на внутреннем и международном рынках.

Таким образом, результаты исследования подтверждают, что электроэрозионная обработка обладает значительным потенциалом дальнейшего развития и может рассматриваться как одна из ключевых технологий современного высокоточного производства.

Заключение.

Электроэрозионная обработка представляет собой эффективную высокоточную технологию, основанную на удалении материала посредством управляемых электрических разрядов. Особенностью метода является возможность обработки любых электропроводящих материалов независимо от их твёрдости, прочности и других физико-механических характеристик.

Проведённое исследование показало, что использование электроэрозионных технологий обеспечивает получение деталей сложной геометрической формы с высокой точностью размеров и качеством поверхности. Отсутствие механического воздействия на заготовку позволяет минимизировать деформации и расширяет возможности обработки труднообрабатываемых материалов, широко применяемых в современном машиностроении.

Анализ основных типов электроэрозионного оборудования подтвердил эффективность применения проволочно-вырезных, копировально-прошивочных и сверлильных EDM-систем при решении широкого круга производственных задач.

Установлено, что сочетание высокой точности, универсальности и технологической гибкости делает электроэрозионную обработку важным инструментом современного промышленного производства.

Для предприятий Республики Казахстан внедрение электроэрозионных технологий является перспективным направлением технологической модернизации, способствующим повышению качества продукции, развитию высокоточного машиностроения и укреплению конкурентных позиций отечественной промышленности.

Перспективы дальнейших исследований связаны с совершенствованием режимов обработки, внедрением интеллектуальных систем управления технологическим процессом, а также расширением применения электроэрозионных технологий при изготовлении изделий из современных композиционных и жаропрочных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Kumar A., Singh G. Обзор электроэрозионной обработки (EDM) и её применения // Journal of Materials Research and Technology. – 2023.
2. Singh R., Prakash C. Современные тенденции и направления развития индустрии электроэрозионной обработки // Journal of Manufacturing and Materials Processing (JMMP). – 2023.
3. Praveen T., Vinod P. Исследование эффективности микроэлектроэрозионной обработки с использованием порошковых диэлектриков // Journal of Manufacturing and Materials Processing (JMMP). – 2023
4. Sharma M., Gupta R. Комплексный обзор технологии проволочно-вырезной электроэрозионной обработки (WEDM) // Frontiers in Mechanical Engineering. – 2024.
5. Zhang Y., Li H. Исследование проволочно-вырезной электроэрозионной обработки магниевого сплава WE43 // Metallurgical Research & Technology. – 2024.
6. Ali S., Hasan A. Электроэрозионная обработка композиционных материалов: проблемы и инновационные решения // Composite Structures Review. – 2025.
7. Kalita P., Mitra S. Оптимизация параметров электроэрозионной обработки // Manufacturing Review. – 2019.

REFERENCES:

1. Kumar A., Singh G. A review of electrical discharge machining (EDM) and its applications. Journal of Materials Research and Technology, 2023.
2. Singh R., Prakash C. Sovremennye tendentsii i napravleniya razvitiya industrii elektroerozionnoy obrabotki // Journal of Manufacturing and Materials Processing (JMMP). – 2023.
3. Praveen T., Vinod P. Issledovanie effektivnosti mikroelektroerozionnoy obrabotki s ispolzovaniem poroshkovykh dielektrikov // Journal of Manufacturing and Materials

Processing (JMMP). – 2023

4. Sharma M., Gupta R. Kompleksnyy obzor tekhnologii provolochno-vyreznoy elektroerozionnoy obrabotki (WEDM) // Frontiers in Mechanical Engineering. – 2024.
5. Zhang Y., Li H. Issledovanie provolochno-vyreznoy elektroerozionnoy obrabotki magnievogo splava WE43 // Metallurgical Research & Technology. – 2024.
6. Ali S., Hasan A. Elektroerozionnaya obrabotka kompozitsionnykh materialov: problemy i innovatsionnye resheniya // Composite Structures Review. – 2025.
7. Kalita P., Mitra S. Optimizatsiya parametrov elektroerozionnoy obrabotki // Manufacturing Review. – 2019.

Баспаға 30.06.2026 ж. 60х84/8 форматында қол қойылды
Офсеттік басып шығару. Офсеттік қағаз. Шығыс. Л. 12,8 б.п.
Таралымы 500 дана
Баспахананың мекен-жайы: 150000, Қазақстан Республикасы, Солтүстік Қазақстан облысы, Петропавл қаласы, Бостандық көшесі, 51
«Неотехнология және қауіпсіздік ғылыми-зерттеу институты» ЖМ

Подписано в печать 30.06.2026 г. Формат 60х84/8
Печать офсетная. Бумага офсетная. Уч.-изд. Л. 12,8 п.л.
Тираж 500 экз.
Адрес типографии: 150000, Республика Казахстан, Северо-Казахстанская область, г. Петропавловск, ул. Бостандыкская, 51
ЧУ «Научно-исследовательский институт Неотехнологий и безопасности»

Signed for printing in 30.06.2026. Format 60x84/8
Offset printing. Offset paper. Academic edition L. 12,8 p.p.
Circulation 500 copies
Printing house address: 150000, Republic of Kazakhstan, North Kazakhstan region, Petropavlovsk, st. Bostandyk, 51
PI «Research Institute of Neotechnology and Safety»