

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.791.763.2

doi: 10.30987/2782-5957-2026-1-14-21

ПРИМЕНЕНИЕ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ КРЕПЁЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Александр Николаевич Блудов^{1✉}, Денис Александрович Харламов²

¹ Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (филиал), Губкин, Россия

² Губкинский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, Губкин, Россия

¹ bik029@mail.ru

² docktn@bk.ru

Аннотация

Рассматривается использование контактной сварки в сфере машиностроения, подчеркиваются ее достоинства, способствующие увеличению эффективности производства. Отмечается распространённость резьбовых соединений в современных механизмах и целесообразность их интеграции в штампованные элементы. В качестве примера демонстрируется приварка гайки М6 с четырьмя выступами к листовой детали. Описывается устройство оборудования, гарантирующего сохранение точных размеров изделия. Анализируются

потенциальные трудности, способные возникнуть во время сварки и негативно сказаться на качестве конечного продукта и безопасности рабочего персонала. Исследуются параметры, влияющие на устойчивость сварочного процесса. Осуществляется подбор сварочного цикла и параметров сварки для конкретной ситуации с детализацией влияния каждого параметра на ход сварки.

Ключевые слова: сварка, параметры, последовательность, интенсивное разбрызгивание, прочность, выброс металла, сопротивление.

Ссылка для цитирования:

Блудов А.Н. Применение контактной сварки для соединения крепёжных деталей / А.Н. Блудов, Д.А. Харламов // Транспортное машиностроение. – 2026. - № 1. – С. 14-21. doi: 10.30987/2782-5957-2026-1-14-21.

Original article

Open Access Article

APPLICATION OF RESISTANCE WELDING FOR CONNECTING BINDERS

Aleksandr Nikolaevich Bludov^{1✉}, Denis Aleksandrovich Kharlamov²

¹ National University of Science and Technology "MISIS" (Branch), Gubkin, Russia

² Gubkin Branch of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Gubkin, Russia

¹ bik029@mail.ru

² docktn@bk.ru

Abstract

The use of resistance welding in the field of mechanical engineering is considered, its advantages are highlighted, which contribute to an increase in production efficiency. The abundance of threaded connections in modern mechanisms and the expediency of their integration into stamped elements are noted. Welding of M6 nut with four projections to a sheet part is demonstrated as an example. The equipment guaranteeing preservation of exact sizes of a product is described.

The potential difficulties that may arise during welding and negatively affect the quality of the final product and the safety of workers are analyzed. The parameters affecting welding stability are studied. The welding cycle and welding parameters are selected for a specific situation, detailing the effect of each parameter on the welding process.

Keywords: welding, parameters, sequence, intense splashing, strength, metal ejection, resistance.

Reference for citing:

Bludov AN, Kharlamov DA. Application of resistance welding for connecting binders. Transport Engineering. 2026;1:14-21. doi: 10.30987/2782-5957-2026-1-14-21.

Введение

В современных условиях, характеризующихся интенсификацией машиностроительного производства, технология контактной сварки продолжает оставаться критически важным методом формирования неразъемных соединений. Ее устойчивая позиция в технологических процессах сборки детерминирована синергетическим эффектом от совокупности эксплуатационно-технических и экономических факторов. К числу последних правомерно отнести: высокую производительность и точность операций, предельно низкую потребность в расходных материалах, воспроизводимость высоких прочностных характеристик соединения при управлении минимальным набором технологических параметров, а также полную интеграционную совместимость с роботизированными комплексами и гибкими автоматизированными линиями.

Материалы, модели, эксперименты и методы

Базовая деталь: Листовая сталь с горячим цинкованием, номинальной толщиной 1.5 мм. Материаловедческая характеристика стали (массовая доля, %): Углерод (C) – 0.12; Марганец (Mn) – 0.55; Фосфор (P) – 0.015; Сера (S) – 0.01. Представленный химический состав позволяет идентифицировать материал как низкоуглеродистую сталь с повышенным содержанием марганца, что гарантирует ее высокую свариваемость и устойчивость к образованию трещин в зоне термического влияния [11].

Крепежный элемент: Гайка типа DIN 928. Конструктивный признак, обуславливающий применение метода контактной

Существенно отметить, что функциональная нагрузка методов контактной сварки в машиностроении диверсифицирована. Данная технология в равной степени эффективно применяется для фиксации наружных панелей кузова, несущих, в том числе эстетическую функцию, и для сборки силовых элементов шасси и каркаса безопасности, от которых напрямую зависят эксплуатационная надежность и пассивная безопасность транспортного средства [5].

В рамках процесса кузовной сборки одной из наиболее ответственных технологических операций является присоединение резьбовых крепежных деталей к элементам силового каркаса. В качестве репрезентативного примера для анализа целесообразно рассмотреть процесс приварки гайки М6 к оцинкованной стальной облицовке.

сварки, – наличие на приварочной плоскости четырех контактных выступов (рельефов). Функциональное назначение данных выступов заключается в пространственной концентрации сварочного тока и, как следствие, тепловой энергии в строго локализованных зонах (рис. 1). Это позволяет реализовать классический принцип контактной сварки, ключевым технологическим преимуществом которого является существенное сокращение общего тепловложения. Снижение тепловой нагрузки, в свою очередь, минимизирует коробление тонкостенного листа и деградацию антикоррозионного цинкового покрытия в околошовной зоне [14].

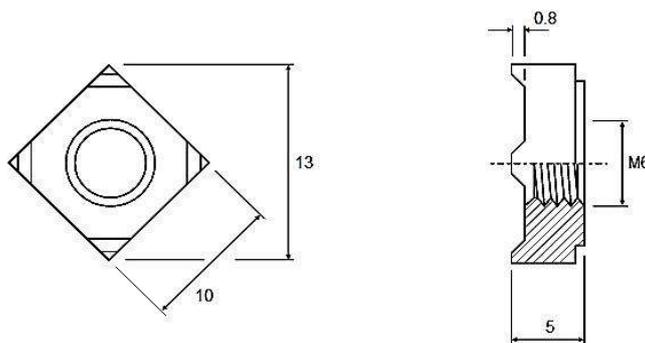


Рис. 1. Конфигурация гайки для сварки
Fig. 1. Configuration of the welding nut

Для достижения требуемых показателей геометрической точности и повторяемости качества соединения используется специализированная оснастка. Конструкция нижнего электрода-держателя включает в себя центрирующий механизм, оснащенный наконечником со сферической рабочей поверхностью. Данная поверхность взаимодействует с направляющей фаской резьбового канала гайки (рис. 2а), обеспечивая ее предварительную ориентацию [12].

Принцип функционирования системы позиционирования: удержание и закрепление центрирующего элемента в активном состоянии обеспечивается пневматической системой, где рабочее давление стабилизировано на отметке 0.4 МПа

(примерно 4 атмосферы). Предложенная конструкция не только компенсирует потенциальные угловые смещения, но и гарантирует высокоточное выравнивание гайки по двум осям координат: в отношении установочного проема в металлической детали и относительно поверхности этой детали. Таким образом, в момент приложения ковочного усилия достигается синхронный и равноконтактный прижим всех четырех рельефов к поверхности основания (рис. 2б). Указанное условие является фундаментальным для формирования стабильных по своим металлографическим и прочностным характеристикам сварных ядер, что в итоге определяет надежность всего резьбового узла в сборе [9].

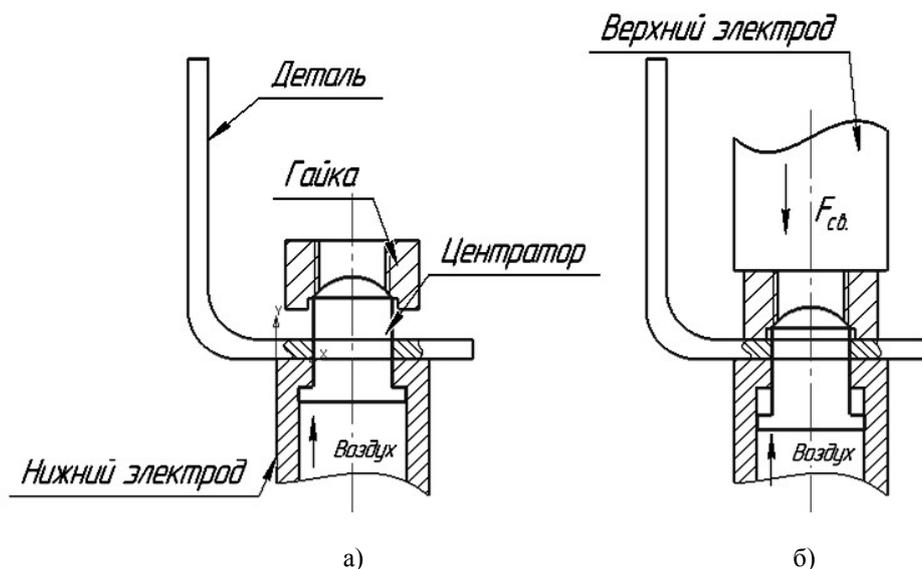


Рис. 2. Положение свариваемых деталей до и после приложения сварочного усилия
 Fig. 2. Position of the welded parts before and after applying the welding force

Процесс сварки, несмотря на применение современных технологических подходов, демонстрирует неудовлетворительные показатели надежности. Данная ситуация складывается из-за целого ряда критических факторов, а именно:

- интенсивное разбрызгивание расплавленного металла в процессе работы;
- значительное разрушение защитного цинкового покрытия;
- нестабильность показателей усадки рельефных элементов;
- нарушение соосности между посадочным отверстием гайки и соответствующим

отверстием в металлической заготовке.

Внешний вид готового изделия, демонстрирующий результат крепления гайки к листовой основе, можно увидеть на рис 3.

Представленная визуализация позволяет наглядно оценить качество выполнения сварочных работ и состояние конечного продукта [8].

Помимо геометрических требований, значительным технологическим препятствием при рельефной приварке гаек является явление выплесков расплавленного металла. Данный дефект существенно

снижает уровень травмо- и пожаробезопасности технологического процесса, вынуждая к внедрению дополнительных средств защиты как оператора, так и оборудования.



Рис. 3. Внешний вид листового элемента с приваренной гайкой
Fig. 3. Appearance of a sheet element with a welded nut

Исходя из вышесказанного, данное исследование ставит своей задачей совершенствование рабочих параметров контактной рельефной сварки. Это направлено на предотвращение выброса жидкого металла и достижение однородной деформации (осадки) всех контактных выступов соединяемой гайки [6].

Проведенный анализ специализированной литературы [1-15] позволяет идентифицировать следующий комплекс причин, обуславливающих возникновение выплесков:

1. Высокое переходное сопротивление: в начальный момент времени, из-за ограниченной зоны соприкосновения неровностей на поверхности листа сопротивление в точке контакта между деталями значительно возрастает. Это вызывает стремительный и интенсивный нагрев в миниатюрных областях соединения при прохождении сварочного тока. Ситуация осложняется изменением состояния цинкового слоя, который, быстро переходя в газообразное и жидкое состояние, наруша-

Результаты

На основании проведенного анализа в качестве основного метода оптимизации

ет стабильность формирующейся области сварки.

2. Несоответствие между фазами нагрева и деформации: последующее за нагревом снижение прочности материала гайки провоцирует сглаживание рельефных неровностей. Однако, если скорость осадки отстает от скорости разогрева, происходит перегрев и преждевременное расплавление вершин рельефов до момента их пластической деформации и формирования замкнутой литой зоны (ядра). Именно этот перегрев и приводит к выбросу жидкого металла [15].

3. Неравномерность контактного давления: в случае недостаточной точности базирования гайки центратором, возникает разнотолщинность контакта по рельефам. На менее прижатых рельефах плотность тока и, соответственно, скорость тепловыделения оказываются выше, что провоцирует их опережающий перегрев и выплеск, в то время как другие рельефы могут оставаться недопрогретыми [7].

Таким образом, для подавления выплесков требуется обеспечить строгое кинетическое согласование фаз нагрева и пластической деформации. Это позволит предотвратить фазовый переход металла на ранних стадиях и гарантировать к моменту завершения цикла сварки формирование полноценных литых ядер, изолированных от внешней среды уплотненным пояском [10].

Кроме того, технология процесса осадки должна исключить возможность возникновения сплошного контакта между торцевой поверхностью гайки и листом до полного формирования сварных точек. Установление такого контакта вызывает катастрофическое падение плотности тока и мощности тепловыделения, что неизбежно ведет к недопустимому снижению прочности соединения вследствие малого объема литого ядра [10].

представляется целесообразным модифицировать сварочный цикл путем введения

дополнительного импульса предварительного подогрева. Физический смысл данного мероприятия заключается в:

- обеспечении устойчивости величин электрического сопротивления в месте соединения;

- постепенному снижению прочности структуры материала с одновременным удалением остаточных слоёв цинка из области сваривания до момента начала активного расплавления [3];

- согласованию по времени фаз интенсивного повышения температуры и сглаживания неровностей.

Опытные работы осуществлялись на новейшем оборудовании для контактной сварки *FFT*, оснащённом высокочастотным инвертором электропитания. Применение настраиваемого модуля управления установки позволило достичь требуемой адаптивности для прецизионной корректировки характеристик цикла сваривания и осуществления комплексной диагностической оценки. В качестве эталонного был произведён тест в жёстких условиях: ток – 20 кА, продолжительность импульса – 20 мс, давление сжатия – 3,6 кН [13].

Результаты подтвердили выдвинутые предположения: наблюдался неуправляемый тепловой «runaway», приводящий к разрушению формирующихся ядер и масштабным выплескам расплава.

В ходе дальнейшей работы был осуществлён подбор параметров двухимпульсного цикла. Для получения наилучшего качества сварного соединения рекомендуется применять предварительный импульс нагрева (сила тока 10 кА, время воздействия 30 мс), за которым следует основной импульс (сила тока 16 кА, время воздействия 50 мс) [4]. Графическое представление описанного технологического процесса приведено на рис. 4.

Использование предложенного двухимпульсного режима сварки позволило достичь практически полного подавления выплесков расплавленного металла. Визуальный и макроструктурный анализ продемонстрировал, что процессы разогрева и пластической деформации рельефов протекают синхронно и равномерно по всем контактным точкам.

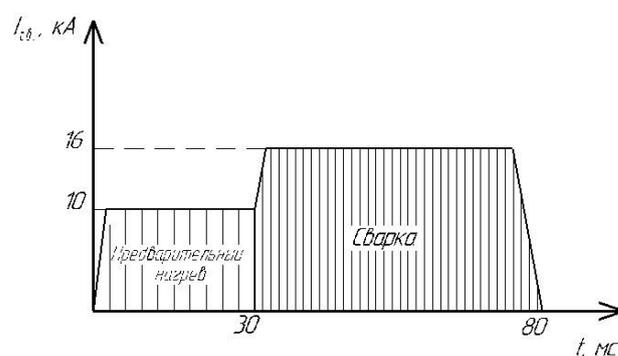


Рис. 4. Форма сварочного импульса с предварительным подогревом ($U_{св}$ – сила сварочного тока, t – время)
Fig. 4. Shape of a preheated welding pulse (I_c – welding current, t – time)

Это свидетельствует о достигнутом балансе между тепловыделением и осадкой, что и являлось основной целью исследования. В результате технологический процесс приобрел повышенную стабильность и, как следствие, существенно возросший уровень производственной безопасности.

Верификация прочности сформированных соединений проводилась методом неразрушающего контроля с применением динамометрического ключа в полном соответствии с действующей технической документацией. В ходе испытаний, при приложении к крепежному элементу крутящего момента, соответствующего паспортному значению в 35 Н·м, ни в одном из тестовых образцов не было зафиксировано разрушения сварного соединения или срыва резьбы. Это объективно подтверждает, что оптимизация режима не только устранила внешний дефект в виде выплесков, но и обеспечила соответствие соединения требуемым механическим характеристикам.

Важно отметить, что переход на более сложный, с точки зрения кинетики, сварочный цикл не вызвал технологических сложностей при переналадке оборудования. Это стало возможным благодаря использованию программируемого блока управления сварочной машины, который обеспечил простоту ввода и воспроизводимость заданных параметров [2].

Несмотря на некоторое увеличение длительности самого импульса тока (сум-

марно с 20 до 80 мс), общая производительность участка сборки узла не снизилась, а даже возросла. Данный позитивный эффект был достигнут за счет двух ключевых факторов:

1. Сокращение времени на контрольные операции: исключение выплесков позволило упростить и ускорить процедуру визуального контроля, которая более не требует тщательного осмотра на наличие опасных дефектов [1].

Заключение

1. По итогам проведённого исследования выявлены ключевые факторы, провоцирующие нежелательные явления при выполнении контактной сварки гаек М6 к оцинкованному листовому металлу. Основным источником проблемы выступает нестабильное электрическое сопротивление в зоне контакта рельефных поверхностей, что приводит к выбросам расплавленного металла в процессе сварки и неравномерным распределением давления на рельефы из-за неточностей позиционирования, а также отрицательным влиянием цинкового покрытия, которое интенсивно испаряется при нагреве.

2. С целью улучшения качества и устойчивости контактной сварки гайки М6

2. Исключение дополнительной технологической операции: стабильность процесса и отсутствие брызг металла привели к тому, что технологический процесс претерпел существенные изменения: этап калибровки резьбового соединения, который ранее выполнялся методом протяжки после завершения сварочных работ для ликвидации возможных металлических наплывов, был исключён из производственной последовательности.

к оцинкованной стали толщиной 1,5 мм был разработан и успешно протестирован усовершенствованный двухфазный цикл сварки. Данный режим предусматривает использование начального импульса для предварительного нагрева (ток 10 кА, длительность 30 мс) для стабилизации контактных сопротивлений и пластификации цинкового слоя, с последующим основным сварочным импульсом (сила тока 16 кА, длительность 50 мс), обеспечивающим формирование сварного ядра заданного размера. Внедрение данного режима позволило полностью исключить образование выплесков и гарантировать соответствие соединений требованиям конструкторской документации по прочности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Абабков, Н. В. Технология и оборудование контактной сварки: учебное пособие / Н. В. Абабков, М. В. Пимонов. Кемерово: КузГТУ, 2011. 258 с.
2. Булычев В. В., Зыбин И. Н., Парамонов С. С. Исследование процесса рельефной приварки гаек к оцинкованной листовой стали / Булычев В. В., Зыбин И. Н., Парамонов С. С. // Заготовительные производства в машиностроении. 2019. Т. 17, № 10. С. 441-445
3. Вакатов, А. В. Особенности формирования сварных соединений при контактной точечной сварке оцинкованной стали / А. В. Вакатов // Сварочное производство. 2001. № 2. С. 20-21.
4. Гилевич В. А. Технология и оборудование рельефной сварки. Л.: Машиностроение, 1976. 120 с.
5. Гуляев А. И. Технология и оборудование контактной сварки. М.: Машиностроение, 1985. 120 с.
6. Катаев, Р. Ф. Теория и технология контактной сварки: учебное пособие / Р. Ф. Катаев, В. С. Милютин, М. Г. Близник. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. 144 с.
7. Миддельдорф К., Д. фон Хофе. Тенденции развития технологий соединения материалов. В сборнике: Сварка и родственные технологии - в третьем тысячелетии. Автоматическая сварка: пленарные доклады Международной конференции, 2008. 100 с.
8. Ненарокомов Г. К. «Об особенностях контактной точечной сварки оцинкованных деталей» // Журнал «Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук». 2017. №5-1. С. 56-60.
9. «Оптимизация количества энергии, вводимой в зону рельефной сварки пакетных соединений» / Поляков А. Ю., Фурманов С. М., Березиенко В. П., Лялихов С. И. // Вестник Белорусско-Российского университета, 2012, № 2, с. 67-77.
10. Парамонов С. С., Максимов Н. Н. «Особенности рельефной сварки крепёжных изделий» // «Электронный журнал: наука, техника и образование». 2017. № СВ3 (15). С. 5-10.
11. Пиетрас, А. Точечная сварка оцинкованных листовых материалов в серийном производстве /

А. Пиетрас, Х. Папкала // Сварка и родственные технологии: мировой опыт и достижения: материалы II междунар. симп. Минск, 2001. С. 63-71.

12. Поляков А. Ю. «Разработка технологического процесса контактной рельефной сварки пакетных соединений засовов замков». 10 с.
13. Поляков, А. Ю. Снижение энергоёмкости процессов контактной рельефной сварки : монография / А. Ю. Поляков. 2-е изд., доп. Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. 216 с.

REFERENCES

1. Ababkov NV, Pimonov MV. Technology and equipment of contact welding: textbook. Kemerovo: KuzSTU; 2011.
2. Bulychev VV, Zybin IN, Paramonov S S. Study of relief welding process of nuts to galvanized sheet steel. Blanking Productions in Mechanical Engineering. 2019;17(10):441-445.
3. Vakotov AV. Features of the formation of welded joints during contact spot welding of galvanized steel. Svarochnoe Proizvodstvo. 2001;2:20-21.
4. Gillevich VA. Technology and equipment of projection welding. Leningrad: Mashinostroenie; 1976.
5. Gulyaev AI. Technology and equipment of contact welding. Moscow: Mashinostroenie; 1985.
6. Kataev RF, Milyutin VS, Bliznik MG. Theory and technology of contact welding: textbook. Yekaterinburg: Publishing House of Ural University; 2015.
7. Middeldorff KD. Trends in the development of technologies for joining materials. Collection of Plenary Reports of the International Conference, 2008: Welding and Related Technologies - into the Third Millennium.
8. Nenarokomov GK. On the features of contact spot welding of galvanized parts. Aktualnye Problemi Gumanitarnyh I Estestvennih Nauk. 2017;5-1:56-60.

Информация об авторах:

Блудов Александр Николаевич – кандидат технических наук, филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Губкин, тел.: 8-920-581-00-11.

Bludov Aleksandr Nikolaevich – Candidate of Technical Sciences, branch of National University of Science and Technology "MISIS", Gubkin; phone: 8-920-581-00-11.

14. «Оборудование для контактной сварки: справочное пособие / [Ф. А. Аксельрод и др.] ; под ред. В. В. Смирнова. Санкт-Петербург : Энергоатомиздат. С.-Петерб. отд-ние, 2000. 846, с. : ил., табл. : 20 см.
15. Чуларис, А. А., Rogozin, Д. В. Технология сварки давлением: учеб. пособие для вузов / А. А. Чуларис, Д. В. Rogozin. Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. 222 с. : ил. (Высшее образование). Библиогр.: с. 220.

9. Polyakov AYu, Furmanov SM, Berezienco VP, Lyalikhov SI. Optimization of the amount of energy injected into the projection welding zone of batch joints. Bulletin of Belarusian-Russian University. 2012;2:67-77.
10. Paramonov SS, Maksimov NN. Features of projection welding of fasteners. Science, Technology and Education. 2017;SV3 (15):5-10.
11. Pietras A, Papkala H. Spot welding of galvanized sheet materials in mass production. Proceedings of the II International Symposium, 2001: Welding and Related Technologies: World Experience and Achievements; Minsk: 2001. p. 63-71.
12. Polyakov AYu. Development of the manufacturing process of resistance projection welding of package joining of locks deadbolts. Bulletin of Belarusian-Russian University. 2014;3(44):56-67.
13. Polyakov AYu. Reducing the energy intensity of resistance projection welding processes: monograph. 2nd ed. Moscow, Vologda: Infra-Engineering; 2020.
14. Smirnov VV, editor. Equipment for contact welding: reference manual. Saint Petersburg: Energoatomizdat; 2000.
15. Chularis AA, Rogozin DV. Technology of pressure welding: textbook for universities. Rostov-on-Don: Phoenix; 2006.

Харламов Денис Александрович – кандидат технических наук, Губкинский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова», тел.: 8-910-228-50-71.

Kharlamov Denis Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Gubkin Branch of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, phone: 8-910-228-50-71.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 10.11.2025; одобрена после рецензирования 24.11.2025; принята к публикации 29.12.2025. Рецензент – Нагоркин М.Н., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета.

The article was submitted to the editorial office on 10.11.2025; approved after review on 24.11.2025; accepted for publication on 29.12.2025. The reviewer is Nagorkin M.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University.

НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ БАКАЛАВРОВ!

***В Брянском государственном техническом университете в 2026 году продолжается приём на новое направление подготовки бакалавров
09.03.03 – Прикладная информатика,
профиль «Компьютерное проектирование и дизайн»***

Развитие техники и технологий в современном мире предъявляют к промышленным машинам и механизмам не только требования в обеспечении надёжности, долговечности и безопасности, но и требования современного дизайна, эстетичности, удобства пользования и оптимальной конструкции. Современные системы 3D моделирования и виртуализации позволяют на новом уровне переосмыслить промышленный дизайн и создавать инновационную футуристичную продукцию.

В современной динамично развивающейся России, имеется недостаток в высококвалифицированных специалистах в области компьютерного проектирования и дизайна, которые способны на основе инженерных расчётов разработать инновационный дизайн промышленных объектов с применением самых современных инструментов - промышленных пакетов программ, CAD / CAM / CAE систем, а также 3D прототипирования, систем виртуальной реальности и прикладного программирования.

Объектом профессиональной деятельности выпускника является промышленный дизайн и проектирование технических систем, машин и механизмов с помощью современных IT технологий, 3D прототипирования и виртуализации. Областью знаний будущих выпускников является способность выполнять расчёт и проектирование машин и механизмов, применять прикладное программирование для решения технических задач и создавать современный дизайн промышленных объектов с помощью IT технологий.

Будущий выпускник будет востребован конструкторскими организациями, промышленными предприятиями, научно-исследовательскими учреждениями, высшими учебными заведениями в качестве инженера-проектировщика, прикладного программиста или дизайнера технических систем, а материально-техническая база университета и кафедры, квалифицированный преподавательский состав и продуманный учебный план подготовки бакалавра гарантирует получение студентами глубоких знаний в области промышленного дизайна, прикладного программирования и проектирования современных промышленных машин, комплексов и оборудования.

Контактная информация

Сайт университета:
Приемная комиссия:

www.tu-bryansk.ru
pk@tu-bryansk.ru

Тел.: 8 (4832) 58-82-64,
8 (4832) 51-03-57