

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2025. № 1 (72). С. 51–56.

УДК 621.992.5

Vestnik MSUT “Stankin”. 2025. No. 1 (72). P. 51–56.

В.А. Гречишников, Г.А. Самсоненко, А.Р. Мирзомахмудов ✉

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

✉ Автор для корреспонденции

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И СНИЖЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТРУБНЫХ РЕЗЬБ НА ОСНОВЕ ПЛАНЕТАРНОЙ ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

Аннотация

В статье рассматривается проектирование и разработка устройства для обработки резьбы труб нефтяного сортамента в пространстве устья скважин. Проведен анализ существующих решений, выявлены их основные недостатки, такие как необходимость использования громоздкого оборудования и ограниченная функциональность при работе с различными типами резьбы. В ответ на выявленные проблемы предложено новое портативное устройство, использующее метод планетарного фрезерования, что позволяет повысить производительность и улучшить качество обработки. Устройство отличается универсальностью благодаря возможности настройки шага и конусности резьбы, а также снижением нагрузки на инструмент за счет оптимальных режимов резания. Разработанная конструкция обеспечивает легкость транспортировки и установки, что делает устройство удобным для использования в полевых условиях.

В статье также представлены результаты патентного поиска и детализированное описание разработанного устройства с указанием его основных особенностей и преимущества по сравнению с аналогами.

Ключевые слова: обработка резьбы, планетарное фрезерование, фрезерование резьб, трубы нефтяного сортамента, пространство устья, устье скважин, портативное устройство.

Для цитирования: Гречишников В.А., Самсоненко Г.А., Мирзомахмудов А.Р. Повышение производительности и снижение эксплуатационных затрат при обработке трубных резьб на основе планетарной фрезерной обработки // Вестник МГТУ «Станкин». – 2025. – № 1 (72). – С. 51–56.

V.A. Grechishnikov, G.A. Samsonenko, A.R. Mirzomakhmudov ✉

MSUT “STANKIN”

✉ Corresponding author

INCREASING PRODUCTIVITY AND REDUCING OPERATING COSTS FOR PIPE THREAD MACHINING BASED ON PLANETARY MILLING

Abstract

The article deals with the design and development of a device for processing of oil grade pipe threads in the wellhead space. The existing solutions are analyzed, their main disadvantages are identified, such as the need to use bulky equipment and limited functionality when working with different types of threads. In response to the identified problems, a new portable device utilizing the planetary milling method is proposed, which allows to increase productivity and improve the quality of processing. The device is characterized by its versatility due to the ability to customize thread pitch and taper, as well as by the reduction of tool load due

to optimal cutting modes. The developed design provides easy transportation and installation, which makes the device convenient for use in the field.

The article also presents the results of the patent search and a detailed description of the developed device with an indication of its main features and advantages compared to analogues.

Keywords: thread processing, planetary milling, thread milling, oil-grade pipes, wellhead, portable device.

For citation: Grechishnikov V.A., Samsonenko G.A., Mirzomakhmudov A.R. Increasing productivity and reducing operating costs for pipe thread machining based on planetary milling. *Vestnik MSUT "Stankin"*. 2025. No 1 (72). P. 51–56. (In Russian)

Введение

Обработка резьбы труб нефтяного сортамента является одной из основных операций в процессе эксплуатации нефтяных и газовых скважин. Резьбовые соединения обеспечивают герметичность и надежность соединений, что напрямую влияет на безопасность и эффективность буровых и эксплуатационных работ. В условиях пространства устья скважин обработка резьбы труб представляет собой сложную проблему, требующую применения специализированного оборудования. Существующие устройства для обработки резьбы труб часто громоздки, требуют использования стационарного оборудования и не всегда подходят для работы в полевых условиях. Эти ограничения создают потребность в разработке портативных и универсальных решений.

Основные решения этой проблемы на рынке оборудования сталкиваются с рядом существенных недостатков, таких как необходимость использования тяжелого оборудования, ограниченная настройка под различные типы резьбы, высокая стоимость переоснащения и сложность эксплуатации. Кроме того, использование традиционных методов, таких как токарная обработка с помощью резцов, приводит к износу инструмента и снижению качества обработки из-за невозможности эффективного охлаждения рабочей зоны. Эти проблемы создают значительные затруднения при обслуживании и ремонте труб непосредственно на месте эксплуатации, что повышает издержки эксплуатации и время простоя оборудования.

На сегодняшний день существует необходимость в разработке инновационного решения данной проблемы, которое позволит повысить производительность и качество обработки резьбы труб непосредственно в пространстве устья скважин. Решение этих задач особенно важно в условиях постоянного роста требований к надежности и эффективности оборудования в нефтегазовой отрасли.

Целью данного исследования является разработка нового устройства для обработки резьбы труб

в пространстве устья скважин, которое позволит устранить недостатки существующих решений. Задачи статьи состоят из анализа существующих технологий и устройств, выявления их основных недостатков, разработки нового устройства с использованием кинематики планетарного фрезерования, а также сравнения его эффективности с аналогами.

Структура статьи включает обзор существующих устройств и технологий, описание разработанного устройства и его конструктивных особенностей, результаты сравнительного анализа, а также обсуждение преимуществ нового решения и его потенциала для применения в полевых условиях.

Анализ существующих решений устройств

В настоящее время на рынке представлены различные устройства для обработки резьбы труб нефтяного сортамента, однако, большинство из них имеют существенные ограничения, которые снижают их эффективность и удобство использования в полевых условиях, особенно в пространстве устья скважин. Анализ существующих решений показал, что существующие устройства обладают рядом недостатков, которые препятствуют их широкому применению [7].

Существующие устройства для обработки резьбы в основном используют традиционные методы токарной обработки с помощью резцов. Примером таких решений являются устройства, в которых в качестве привода главного движения используется гидроцилиндр, а для задания конусности резьбы применяются специальные резьбовые копиры. В качестве режущего инструмента используются 3–4 токарных резца. Данный подход имеет ряд недостатков:

- заниженные режимы резания из-за отсутствия подвода СОЖ в зону резания, что приводит к перегреву инструмента, снижению его износостойкости и ухудшению качества обработки резьбы;

- большой вес устройства (более 60 кг) затрудняет его эксплуатацию; устройства требуют высокой квалификации оператора для точной установки резцов относительно оси обрабатываемой трубы;
- нет органов настройки; устройства не многофункциональны, так как большинство из них предназначены только для обработки резьбы с фиксированной конусностью.

Анализ патентов показал, что существующие устройства стремятся устранить выявленные недостатки, но все еще сталкиваются с рядом проблем:

Патент на изобретение RU 2190078 C2 [2]. Название: Устройство для нарезания резьбы на трубах на устье скважин. Авторы: Матвеев В.М., Яковенко Н.А., Кузнецов В.Г., Сгибнев А.Д.

Основным недостатком является фиксированная конусность (1:16) и большой вес, затрудняющий установку и настройку. Кроме того, закрепление на трубе осуществляется с помощью винтов, что требует дополнительной квалификации от оператора.

Патент на изобретение RU 2474671 C1 [1]. Название: Устройство для нарезания резьбы на трубах на устье скважин. Авторы: Матвеев В.М., Кузнецов В.Г., Петин В.А.

Конструкция была разделена на съемные модули для упрощения транспортировки. Однако, несмотря на улучшенную транспортируемость, устройство по-прежнему имеет недостаточную жесткость при обработке несколькими резцами одновременно и требует значительных усилий для установки.

Основные выявленные недостатки:

- высокая сложность и трудоемкость эксплуатации: процесс установки и настройки устройств требует значительных временных и трудовых затрат, что снижает их эффективность в полевых условиях;
- недостаточная гибкость и универсальность: невозможность быстрой адаптации под различные типы резьбы и профильные особенности труб делает устройства менее универсальными;
- проблемы с охлаждением и износом инструмента: традиционные методы резания не позволяют эффективно охлаждать режущий инструмент, что приводит к его быстрому износу и снижению качества обработки.

Анализ показал, что для повышения эффективности обработки резьбы труб на устье скважин необходимо новое подходящее устройство, которое будет легким, портативным и способным работать в широком диапазоне режимов резания. Требуется

инновационный метод обработки, который позволит устранить ограничения традиционных технологий, повысить производительность и обеспечить высокое качество обработки без необходимости использования тяжелого станочного оборудования [5].

Разработка устройства для планетарного фрезерования резьб в устье скважин

На основе анализа существующих решений была разработана новая конструкция устройства для обработки резьбы труб нефтяного сортамента в пространстве устья скважин [6]. Главной особенностью данного устройства является использование метода планетарного фрезерования, что позволяет значительно улучшить качество обработки, повысить производительность и снизить нагрузку на режущий инструмент. Предложенное устройство отличается портативностью, универсальностью и возможностью работы в различных полевых условиях. Масса устройства составила 40 кг, диаметр устройства $\varnothing 310$ мм, а длина 420 мм.

Новое устройство было разработано с учетом выявленных недостатков предшествующих решений. Целью разработки стало создание компактного и универсального оборудования, способного эффективно обрабатывать резьбу различных типов и профилей без необходимости использования громоздкого станочного оборудования (рис. 1). Применение метода планетарного фрезерования

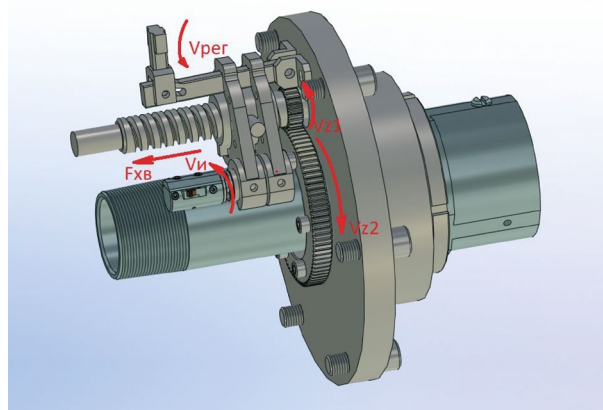


Рис. 1. Кинематическая схема устройства, где $F_{xв}$ – линейное перемещение узла режущего инструмента относительно ходового винта; V_u – вращение режущего инструмента; V_{z1} – вращение малого зубчатого колеса, сообщаемое внешним двигателем через ходовой винт; V_{z2} – вращение подвижной части устройства относительно гильзы, зафиксированной на трубе; $V_{пер}$ – проворот регулировочной планки относительно зафиксированной оси

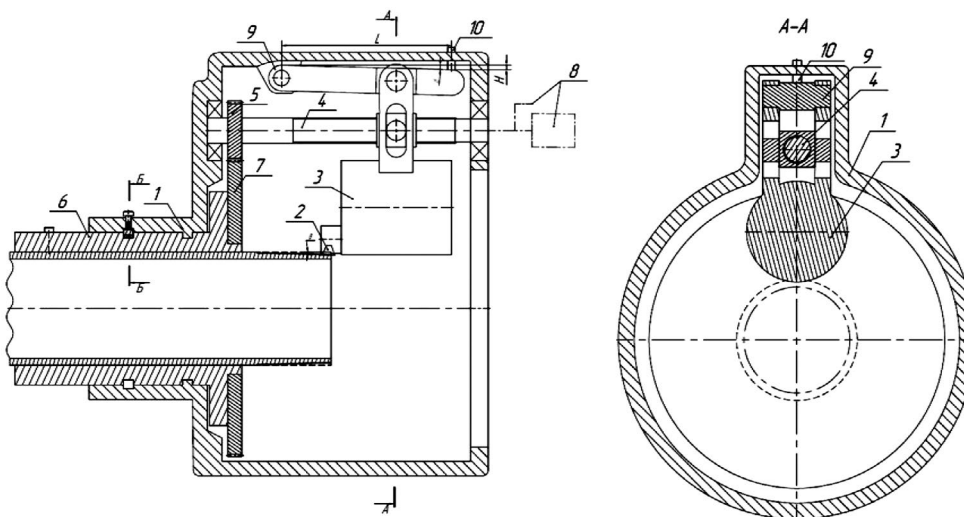


Рис. 2. Устройство для нарезания резьб на трубах в устье скважин, где: 1 – корпус устройства; 2 – механизм вращения и подачи режущего инструмента; 3 – электродвигатель; 4 – ходовой винт; 5 – малое зубчатое колесо; 6 – гильза; 7 – большое зубчатое колесо; 8 – привод вращения устройства; 9 – планка регулировки наклона движения; 10 – установочный винт

позволяет распределить нагрузку на инструмент и обеспечивает более стабильные и оптимальные режимы резания по сравнению с традиционными методами обработки. Конструктивное исполнение устройства представлено на рис. 2.

Устройство состоит из корпуса 1, внутри которого расположены механизмы подачи и вращения режущего инструмента; он изготовлен из легких, но прочных материалов, что обеспечивает высокую жесткость и снижает общий вес устройства; привода вращения и подачи инструмента, состоящего из зубчатой передачи и ходового винта; режущего инструмента в виде резьбовой фрезы; регулировочного винта и планки, которые позволяют устанавливать наклон траектории перемещения инструмента относительно заготовки; прижимных элементов для фиксации устройства на обрабатываемой трубе, обеспечивающих распределение веса и нагрузки по длине трубы, что предотвращает деформацию и повреждение установочной поверхности [4].

Обработка конических резьб осуществляется с помощью регулировочного винта 10, для установки регулировочной планки на угол β , равный конусности резьбы. Величина угла β определяется в формуле (1):

$$\arctan \beta = \frac{H}{L}, \quad (1)$$

где: H – глубина установки регулировочного винта; L – расстояние между осью крепления регулировочной планки и установочным винтом.

Z_1 и Z_2 – числа зубьев на зубчатых колёсах (2):

$$\frac{Z_2}{Z_1} = n, \quad (2)$$

$P_{винт}$ – шаг ходового винта (3):

$$\frac{P_{винт}}{n} = P, \quad (3)$$

где n – количество оборотов винта за время одного обката зубчатого колеса вокруг зубчатого колеса, что обеспечивает круговую подачу на зуб инструмента при планетарном формообразовании резьбы; P – шаг обрабатываемой резьбы.

Для точной настройки устройства предусмотрен привод вращения ходового винта и регулировочная планка, которая шарнирно закреплена одним концом на внутренней стенке корпуса и соединена с ходовым винтом и электродвигателем. Регулировочный винт, установленный в корпусе, взаимодействует с другим концом планки, позволяя изменять параметры работы устройства. Для замедления движения первого зубчатого колеса вокруг второго в конструкции предусмотрен фрикционный элемент, расположенный между корпусом и гильзой. Эти конструктивные особенности обеспечивают стабильную и точную работу устройства, улучшая качество нарезки резьбы и снижая нагрузку на режущий инструмент [3].

На основе эскиза была разработана трёхмерная модель устройства (рис. 3).

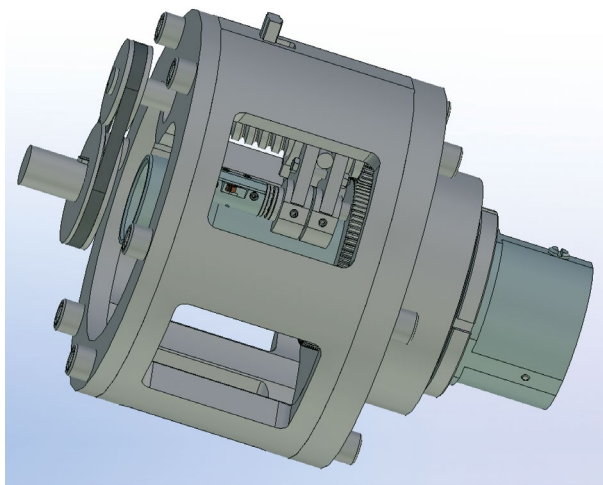


Рис. 3. Трёхмерная модель разработанного устройства

Выводы

Разработанное устройство имеет ряд преимуществ:

- Универсальность: возможность настройки под различные типы резьбы и углы конусности делает устройство пригодным для использования в широком спектре задач.
- Повышенная производительность: метод планетарного фрезерования обеспечивает высокую скорость обработки и снижает износ инструмента.
- Портативность и удобство эксплуатации: легкая конструкция и простота установки делают устройство идеальным для использования в полевых условиях, что особенно важно для работ на устье скважин.
- Снижение эксплуатационных затрат: минимизация количества узлов и деталей повышает надежность устройства и снижает затраты на обслуживание.

Библиографический список

1. Пат. 2474671 Российская Федерация, МПК E21B 17/00. Устройство для нарезания резьбы на трубах на устье скважин / Матвеев В.М., Кузнецов В.Г., Петин В.А., заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Газпром газобезопасность» – № 2012110065/03 заявл. 15.03.2012 г.; опубл. 10.02.2013 г., Бюл. № 4
2. Пат. 2190078 Российская Федерация, МПК E21B 17/00. Устройство для нарезания резьбы на трубах на устье скважин / Матвеев В.М., Яковенко Н.А., Кузнецов В.Г., Сгибнев А.Д. заявитель и патен-

тообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Газобезопасность» – № 2000109401/03, заявл. 14.04.2000 г.; опубл. 27.09.2002 г., Бюл. № 27

3. Пат. 204572 Российская Федерация, МПК B23G 5/18. Резьбофреза / Самсоненко Г.А., Косарев В.А., Мирзомахмудов А.Р.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН». – № 2020136706; заявл. 09.11.2020 г.; опубл. 31.05.2021 г., Бюл. № 16 – 1 с.: ил.

4. Цыбрий И.К., Коваль Н.С., Исабеков Ж.Н. Исследование параметров конических резьб, влияющих на качество соединения труб нефтяного сортамента. Advanced Engineering Research, 2022.

5. Косарев В.А., Гречишников В.А. Инновационные конструкции металлообрабатывающего инструмента для высокотехнологичных машиностроительных производств // Справочник. Инженерный журнал. 2011. – № 12. – С. 38–43.

6. Пат. 2726744 Российская Федерация, МПК B23G 1/24. Приспособление для нарезания резьбы на трубах вне станка / Самсоненко Г.А., Косарев В.А., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН». – № 2019123668 заявл. 26.07.2019 г.; опубл. 15.07.2020 г., Бюл. № 20.

7. Гречишников В.А. Наука и искусство системного моделирования инструментального обеспечения машиностроительных производств. КУРС, 2016. – 376 с.

References

1. Pat. 2474671 Russian Federation, CPC E21B 17/00. Device for threading pipes at the wellhead / Matveev V.M., Kuznetsov V.G., Petin V.A., applicant and patentee Limited Liability Company “Gazprom Gazobezопасnost” – № 2012110065/03 filed. 15.03.2012; published 10.02.2013, Bulletin No. 4.
2. Pat. 2190078 Russian Federation, CPC E21B 17/00. Device for thread cutting on pipes at the wellhead / Matveev V.M., Yakovenko N.A., Kuznetsov V.G., Sgibnev A.D. Applicant and patentee Limited Liability Company “Gazobezопасnost” – No. 2000109401/03, filed. 14.04.2000; published on 27.09.2002, Bulletin No. 27.
3. Pat. 204572 Russian Federation, CPC B23G 5/18. Thread cutter / Samsonenko G.A., Kosarev V.A., Mirzomakhmudov A.R.; applicant and patentee FGBOU VO “MSTU ‘STANKIN’”. – No. 2020136706; applied for. 09.11.2020; published 31.05.2021, Bulletin No. 16 – 1 p.: ill.
4. Tsybriy I.K., Koval N.S., Isabekov J.N. Study of tapered thread parameters affecting the quality of oil grade pipe joints. Advanced Engineering Research, 2022.

5. Kosarev V.A., Grechishnikov V.A. Innovative designs of metalworking tools for high-tech machine-building productions. *Reference. Engineering Journal*. № 12. 2011. P. 38–43.

6. Pat. 2726744 Russian Federation, CPC B23G 1/24. Fixture for thread cutting on pipes outside the machine /

Samsonenko G.A., Kosarev V.A., applicant and patentee FGBOU VO “MSTU ‘STANKIN’”. – No. 2019123668 filed. 26.07.2019; published 15.07.2020, Bulletin No. 20.

7. Grechishnikov V.A. Science and the art of system modeling of tool support of machine-building industries production. KURS, 2016 – 376 p.

Информация об авторах

Гречишников Владимир Андреевич – доктор технических наук, профессор кафедры инструментальной техники и технологии формообразования, ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
v.grechishnikov@stankin.ru

Самсоненко Григорий Андреевич – аспирант кафедры инструментальной техники и технологии формообразования, ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
samsonenko_gr@mail.ru

Мирзомахмудов Азимжон Рустамович – аспирант кафедры инструментальной техники и технологии формообразования, ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
mirzoazim97@mail.ru

Information about the authors

Grechishnikov Vladimir Andreevich – D.Sc. of Engineering, Professor at the sub-department of “Cutting Tools and Form-Generation Technologies”, MSUT “STANKIN”
v.grechishnikov@stankin.ru

Samsonenko Grigoriy Andreevich – postgraduate student at the sub-department of “Cutting Tools and Form-Generation Technologies”, MSUT “STANKIN”
samsonenko_gr@mail.ru

Mirzomakhmudov Azimzhon Rustamovich – postgraduate student at the sub-department of “Cutting Tools and Form-Generation Technologies”, MSUT “STANKIN”
mirzoazim97@mail.ru

Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации и заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors made equivalent contributions to the publication and declare no conflict of interest.