

## К ВОПРОСУ О РАЗВИТИИ ТЕХНОЛОГИЙ РОБОТИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ТЕКУЩЕГО И КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА СКВАЖИН

### TO THE QUESTION OF ROBOTIZATION AND AUTOMATION TECHNOLOGIES DEVELOPMENT IN WELL SERVICING AND WORKOVER

**А. С. Сенькин**  
**Anton S. Senkin**

ООО «РН-БашНИПИнефть»,  
г. Уфа, Российская Федерация

RN-BashNIPIneft LLC,  
Ufa, Russian Federation

**К. О. Ильин**  
**Konstantin O. Ilyin**

ООО «РН-БашНИПИнефть»,  
г. Уфа, Российская Федерация

RN-BashNIPIneft LLC,  
Ufa, Russian Federation

**Н. Н. Краевский**  
**Nikolay N. Kraevskiy**

ООО «РН-БашНИПИнефть»,  
г. Уфа, Российская Федерация

RN-BashNIPIneft LLC,  
Ufa, Russian Federation

**Р. А. Мунасыпов**  
**Rustem A. Munasypov**

Уфимский государственный  
авиационный технический  
университет,  
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Aviation  
Technical University,  
Ufa, Russian Federation

Представлены аспекты применения роботизированных технологий в различных областях промышленности, результаты анализа научно-технической и патентной документации в области автоматизации и роботизации технологических процессов текущего и капитального ремонта скважин. Рассмотрены основные общемировые технологические тенденции и направления развития техники и технологии последнего века, приведён текущий уровень развития технологий, агрегатов и механизмов нефтесервисной отрасли. Представлено соотношение существующих устройств, механизмов и агрегатов в различных областях промышленности РФ с технологическими укладами развития техники и технологий. Приведена классификация основных операций текущего и капитального ремонта скважин по показателю трудоёмкости, сформулированы основные технологические решения в части их автоматизации и роботизации. Даны рекомендации по возможности автоматизации и роботизации операций подземного ремонта нефтедобывающих и нагнетательных скважин в части разработки робототехнического комплекса, включающего набор мехатронных роботизированных модулей и узлов для увеличения эффективности, и производительности при выполнении монтажа и демонтажа робототехнического комплекса, а также при выполнении спускоподъёмных операций.

Представлены обзор технологического оборудования по конструктивным и технологическим признакам, основные направления и решения в области автоматизации и роботизации техники и технологий нефтегазовой отрасли, приведено описание выявленных в процессе исследований необходимых технических и технологических решений. Выполнен анализ технических и конструктивных особенностей рассматриваемого оборудования. Сформирован перечень робототехнических механизмов, устройств и модулей для увеличения эффективности выполнения технологических операций при проведении текущего и капитального ремонта нефтедобывающих и нагнетательных скважин.

#### Ключевые слова

автоматизация; роботизация;  
текущий и капитальный  
ремонт скважин;  
технологические операции;  
робототехнический комплекс

Aspects of the application of robotic technologies in various fields of industry, the results of the analysis of scientific, technical and patent documentation in the field of automation and robotization of technological operations of oil well's workover process are presented. The main global technological trends of development of engineering and technology of the last century are considered, the current level of development of technologies, aggregates and mechanisms of the oilfield service industry is given. The correlation of existing devices, mechanisms and assemblies in various fields of industry of the Russian Federation with technological patterns of development of engineering and technologies is presented. The classification of the main operations of oil well's workover by the labor of time costs is given, the main technological solutions in terms of their automation and robotization are formulated. Recommendations are given on the possibility of automation and robotization of oil well's and injection well's workover operations regarding the development of a robotic complex, including a set of mechatronic robotic modules and assemblies to increase efficiency and productivity when assembling and disassembling a robotic complex, as well as during performing descent and ascent operations.

A review of technological equipment by design and technological features, the main directions and solutions in the field of automation and robotization of equipment and technologies of the oil and gas industry, a description of the necessary technical and technological solutions identified in the course of research is presented. The analysis of technical and design features is performed. A list of robotic mechanisms, devices and modules has been compiled to increase the efficiency of technological operations during the workover of oil producing and injection wells.

### Введение

Развитие робототехники является приоритетным направлением для индустриализации России как в долгосрочной, так и в краткосрочной перспективах. Робототехника может стать «движителем» для общего экономического роста, учитывая, что передовые развитые страны в настоящее время создают роботизированные предприятия и внедряют новейшие робототехнические технологии.

Результаты исследований компании Boston Consulting Group показали, что мировой рынок робототехники, который составил

26,9 млрд долл. США в 2015 г., к 2025 г. возрастёт до 66,9 млрд долл. США [1].

По данным Международной федерации роботов (International Federation of Robotics), количество промышленных роботов увеличится с 1 828 000 шт. с конца 2016 г. до 4 884 000 шт. к концу 2023 г. Общий прогнозируемый рост за 2019–2023 г. составит 47,6 % (рисунок 1) [2].

Одним из распространённых тезисов последних лет является тезис о необходимости опережающего развития науки и техники. Термин впервые был введён российским учё-

### Key words

automation; robotization;  
workover of oil wells;  
technological operations;  
robotic complex

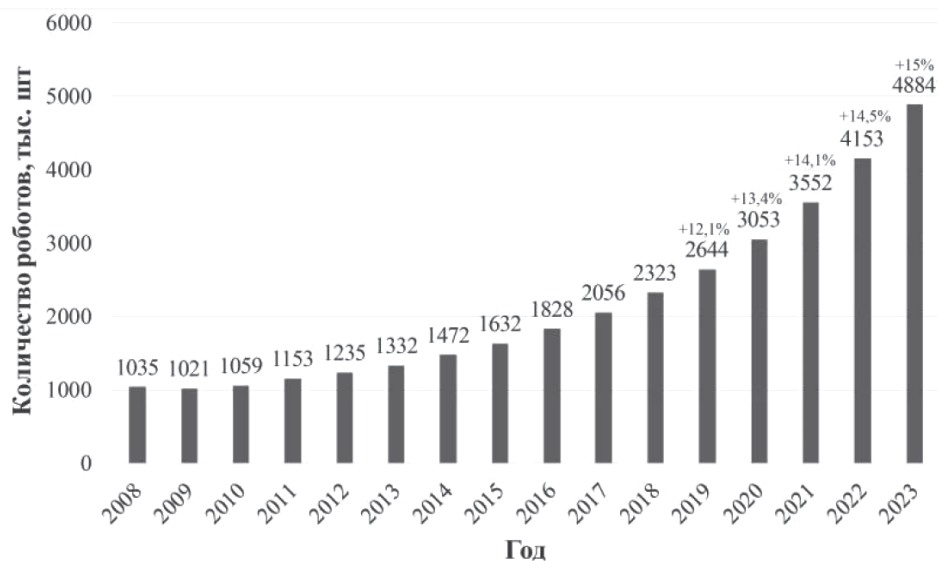


Рисунок 1. Текущее состояние рынка и прогноз роста количества промышленных роботов

ным-экономистом Н. Кондратьевым, согласно теории которого научно-техническая революция характеризуется волнообразным развитием. На данный момент известно пять технологических волн (укладов) [3].

Основу первого технологического уклада (1785–1835 гг.) составляли изобретения в области текстильной промышленности и использования энергии воды.

Второй (1830–1890 гг.) характеризовался ускоренным развитием судоходства, железнодорожного транспорта и появлением механического производства на базе парового двигателя.

Третий (1880–1940 гг.) базировался на применении в промышленности электрической энергии, становлении электротехнической промышленности и тяжёлого машиностроения. Данный период характеризуется изобретением и внедрением телеграфа, радиосвязи и автомобилей.

Четвёртый технологический уклад (1930–1990 гг.) включал в себя ускоренное развитие энергетики с использованием газа, нефти и нефтепродуктов, новых синтетических материалов, средств связи. Данный период характеризуется массовым производством тракторов, автомобилей, компьютерной техники, самолётов, программных продуктов, конвейерных технологий и развитием технологий в области атомной энергетики.

Пятый (1990–2015 гг.) характеризуется достижениями в области электроники, биотехнологии, информатики, использовании новых видов энергии, спутниковой связи и материалов.

В настоящее время промышленность следует по пути развития шестого технологического уклада (2015–2040 гг.), для которого характерна направленность на развитие наукоемких технологий или «High Tech» — биогенной инженерии и нанотехнологий, микроэлектроники, робототехники, искусственного интеллекта.

Следует отметить, что на текущий момент доля технологий третьего технологического уклада в РФ составила более 30 %, более 50 % технологий относятся к четвертому и лишь 10 % составили технологии пятого (военная и аэрокосмическая отрасль).

По различным оценкам, сегодня в мире работают от 2,3 до 2,4 млн роботов. Роботы и услуги, которые связаны с их обслуживанием и эксплуатацией, кардинально изменяют ба-

ланс глобального разделения труда, и РФ может упустить возможность занять в нём достойное место, так как на данный момент доля РФ в этой области минимальна. Очевиден тот факт, что ни одна из стран мира, включая и РФ, не готова самостоятельно противостоять вызовам новой глобальной технологической среды. По данным исследования IFR, инвестиции на развитие робототехники в РФ составляют около 50 млн долл. США/год при годовых мировых инвестициях 9,7 млрд долл. США/год [4].

Конкурентным вызовом для РФ стала необходимость многократного роста инвестиций и поддержки фундаментальных и прикладных исследований в области робототехники. В связи с этим важно оперативно и селективно внедрять лучшие мировые практики в области роботизации и автоматизации, а также выполнять комплексные научные исследования для разработки собственных технологических решений.

Отечественная нефтесервисная отрасль в части текущего и капитального ремонта скважин (ТКРС) в последние годы практически не модернизировалась, за исключением подъёмных агрегатов. Автоматизированных процессов, устройств и механизмов на данный момент недостаточно. Предприятия-изготовители выпускают, как правило, оборудование, спроектированное и разработанное 12 и более лет назад.

Основным сдерживающим фактором для развития автоматизации и роботизированных технологий служит отсутствие долгосрочных контрактов нефтесервисных компаний с заказчиками. У производителей технологического оборудования для текущего и капитального ремонта скважин отсутствует заинтересованность в разработке инновационного оборудования.

Автоматизация операций текущего и капитального ремонта скважин на месторождениях РФ отстаёт по уровню технического развития от передовых стран, роботизированные же технологии полностью отсутствуют. Необходимо отметить, что проведение операций ТКРС традиционными способами связано с влиянием человеческого фактора, который напрямую влияет на риск возникновения нестандартных ситуаций, угрозы здоровью рабочего персонала. В этой связи повышение эффективности проведения ТКРС безусловно зависит от внедрения инновационных технологий.

*Анализ тенденций развития технологий автоматизации и роботизации операций текущего и капитального ремонта скважин*

Количество роботов, работающих в нефтегазовой области, постепенно увеличивается. Примером применения роботизации на буровых установках стало соединение сегментов бурильных колонн. Автоматизация данной операции с применением роботов позволяет заметно сократить число обслуживающего персонала, автоматизировать задачу соединения бурильных труб.

По результатам исследований компаний Microsoft и Accenture было выявлено, что 62 % мировых нефтегазовых компаний планируют в ближайшем будущем увеличить инвестиции в цифровые технологии. Как следствие, ожидается и рост числа роботизированных и автоматизированных систем [5].

Значительное число зарубежных патентов и научно-технической литературы, заявленных зарубежными предприятиями на автоматизированные и роботизированные устройства для проведения ремонтных работ на скважинах, а также их разнообразие, указывает на большую заинтересованность в разработке такого оборудования и механизмов. В то же время встречаются отдельные опытные образцы, не нашедшие массового внедрения, что указывает на сложность создания надёжных, работоспособных конструкций. Для решения указанных проблем в настоящее время проводятся целенаправленные исследования в нефтегазовой отрасли за рубежом и в РФ. В частности, в ООО «РН-БашНИПИнефть» разработан ряд конструкций и устройств для автоматизации процессов ремонта скважин.

Анализ патентной литературы ряда стран (РФ, США, КНР, Германии, Франции, Великобритании) в области автоматизации и роботизации технологических процессов ремонта скважин показывает, что в настоящее время отмечается тенденция к автоматизации способов манипулирования трубами. Это позволяет добиться снижения травматизма при работе с крупногабаритными и тяжёлыми объектами (трубами, штангами), быстрого выполнения операций. Выявлены следующие тенденции развития в области автоматизации и роботизации технологических операций при ремонте скважин:

— механизмы фиксации труб, типы схватов — 15 %;

— механизмы свинчивания/развинчивания труб, автоматизированные ключи — 13 %;

— автоматизация спускоподъёмных операций, системы укладки и хранения труб — 72 %.

Высокая точность и качественные показатели работы (скорость, повторяемость операций, безопасность выполнения операций, исключение обслуживающего персонала из рабочей зоны) — безусловные достоинства автоматических механизмов.

Тем не менее, к недостаткам автоматических механизмов, применяемых при ремонте скважин, следует отнести высокую стоимость производства и сложность конструкций; трудность проведения ремонтов в полевых условиях (ремонт осуществляет квалифицированный специалист).

На основании результатов проведённых исследований и анализа имеющихся данных сформулированы основные направления и решения по автоматизации и роботизации операций текущего и капитального ремонта скважин:

1. Автоматизация спускоподъёмных операций насосно-компрессорных труб (НКТ) путём включения в систему не менее одного робота-манипулятора типа «рука» для перемещения труб или штанг;

2. Автоматизация системы хранения труб, позволяющая сократить время на перемещение труб от/к устью скважины, участие обслуживающего персонала в рабочем процессе;

3. Применение универсальных схватов робота-манипулятора, способных взаимодействовать со всеми стандартизованными типами труб;

4. Автоматизация и комбинация инструментов (манипулятор и ключ), используемых при ремонте скважин.

*Классификация операций при текущем и капитальном ремонте скважин по показателю трудоёмкости*

В результате анализа затрат времени на выполнение технологического процесса текущего и капитального ремонта скважин бригадами сервисных компаний, работающих на территории РФ, была составлена классификация операций по показателю трудоёмкости от общего времени на выполнение ремонта:

— переезд — 7 % для текущего и 4 % для капитального ремонта скважин;

— глушение скважин — 2 % для текущего и 2 % для капитального ремонта скважин;

— подготовительные работы — 11 % для текущего и 9 % для капитального ремонта скважин;

— спускоподъемные операции — 49 % для текущего и 40 % для капитального ремонта скважин;

— технологические операции — 20 % для текущего и 36 % для капитального ремонта скважин;

— технологическое ожидание — 2 % для текущего ремонта скважин;

— заключительные работы — 9 % для текущего и 7 % для капитального ремонта скважин.

Рекомендации по возможности автоматизации и роботизации проведения операций

при текущем и капитальном ремонте скважин представлены в таблице 1.

В процессе анализа выявлено, что наиболее трудоемкими операциями ремонта скважин являются спускоподъемные операции и подготовительно-заключительные работы. Трудозатраты данных операций в общем объеме работ по ремонту скважин составляют не менее 40 % и 16 % соответственно, что позволяет рекомендовать их для автоматизации и роботизации.

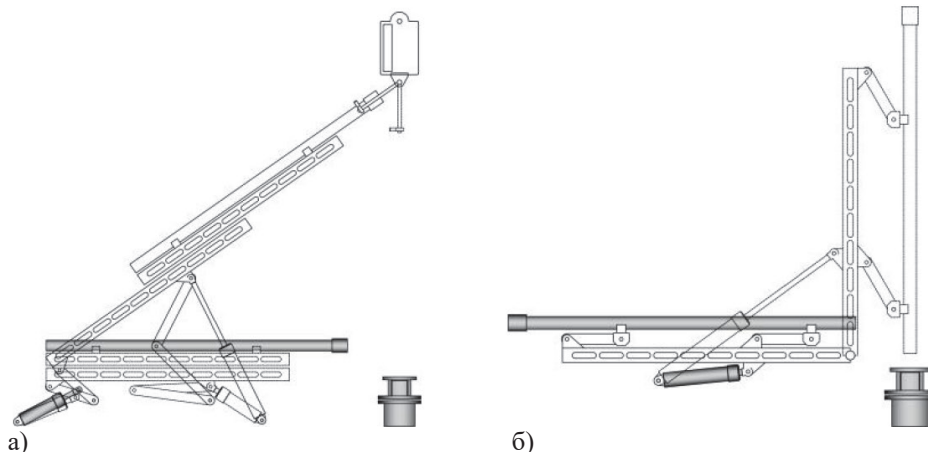
**Таблица 1.** Основные операции текущего и капитального ремонта скважин и рекомендации по возможности их автоматизации и роботизации

Основные операции текущего и капитального ремонта скважин	Возможность автоматизации и роботизации
Мобилизация оборудования	Создание робототехнического комплекса модульной конструкции (все оборудование и инструменты базируются/крепятся на комплексе) в целях сокращения количества рейсов для передислокации оборудования
Подготовительные работы	Создание комплекса модульной конструкции (все оборудование и инструменты базируются/крепятся на комплексе) в целях снижения времени монтажных работ
Спускоподъемные операции	Предлагается использование комплекса модульной конструкции с базирующимися на ней оборудованием и инструментом для выполнения спускоподъемных операций, что позволит сократить время их проведения
Технологические операции	Имеют большую вариативность, сложность проведения операций. В каждом конкретном случае необходим индивидуальный подход, что усложняет автоматизацию и роботизацию на текущем этапе развития технологий. В настоящее время автоматизация и роботизация не рекомендуется
Заключительные работы	Создание комплекса модульной конструкции (все оборудование и инструменты базируются/крепятся на комплексе) в целях сокращения времени проведения демонтажных работ

*Обзор существующего автоматического оборудования для текущего и капитального ремонта скважин*

На рисунке 2 приведена установка подачи НКТ. Используется устройство с подвижной площадкой для перемещения нижнего конца

трубы. Верхний конец трубы при движении поднимается по наклонным направляющим на необходимую высоту, аналогичная подача осуществляется установкой с использованием рычажных механизмов.

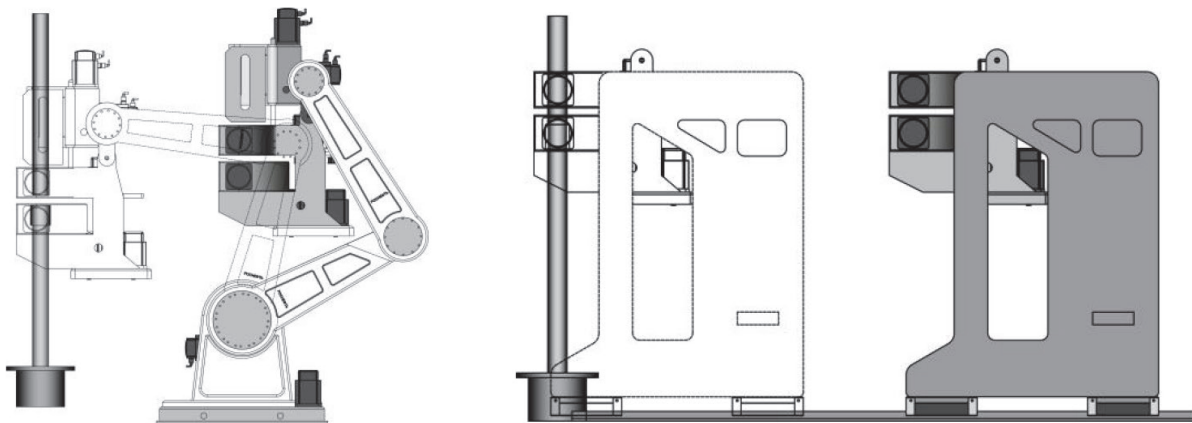


**Рисунок 2.** Технологические схемы установок для подачи НКТ типа «catwalk» (а) и радиально-подъемного типа (б)

Также существует установка для подачи труб с радиальным поворотом. При этом подъём труб и штанг осуществляется за счёт радиального движения подъёмной штанги на угол вплоть до 90°. Тип привода, как правило, гидравлический. Устройство может оснащаться захватами и манипуляторами, необходимыми для выполнения определённых операций (перекладки, фиксации, подачи трубы в зону свинчивания).

Автоматизированные и роботизированные гидравлические ключи предназначены для

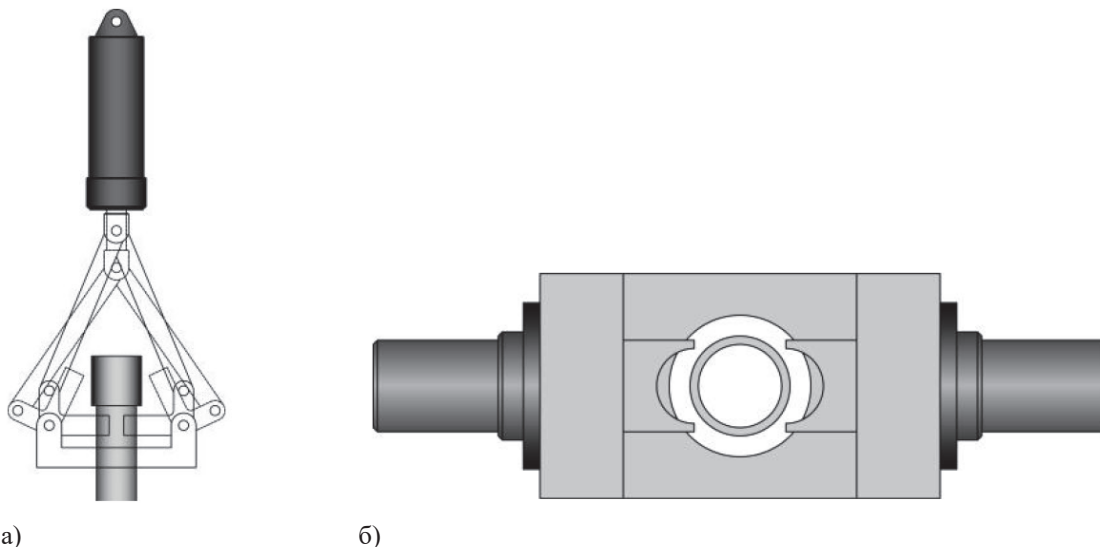
быстрого, безопасного, высокоточного свинчивания и развинчивания труб и штанг (рисунок 3). Применение выдвижного манипулятора, управление с помощью программируемых логических контроллеров и возможность использования выносного пульта позволяют добиться безопасной и эффективной работы в автоматизированном (с пульта) и автоматическом режиме, а также продления срока службы инструмента вследствие отсутствия ударных нагрузок.



а) **Рисунок 3.** Технологические схемы автоматических ключей с роботизированной (а) и линейной (б) подачами

Автоматические элеваторы предназначены для захвата колонны труб (или штанг) и их фиксации в процессе выполнения спуско-подъёмных операций без участия обслуживающего персонала. Следует выделить две наиболее часто применяющихся конструкции автоматических элеваторов — вертикальная компоновка, где основное рабочее возвратно-

поступательное перемещение осуществляет гидроцилиндр вдоль оси спускаемой колонны труб, и горизонтальная, где прижимные планки фиксируют трубу в радиальном направлении. Пример вертикальной компоновки автоматического элеватора изображен на рисунке 4.



а) **Рисунок 4.** Технологические схемы автоматических элеваторов горизонтального (а) и вертикального (б) типов

Системы для хранения труб предназначены для сбора насосно-компрессорных и буровых труб (рисунок 5). Системы хранения труб делятся на вертикальные и горизонталь-

ные. Вертикальные преимущественно применяются при бурении скважин, горизонтальные при текущем и капитальном ремонте скважин.

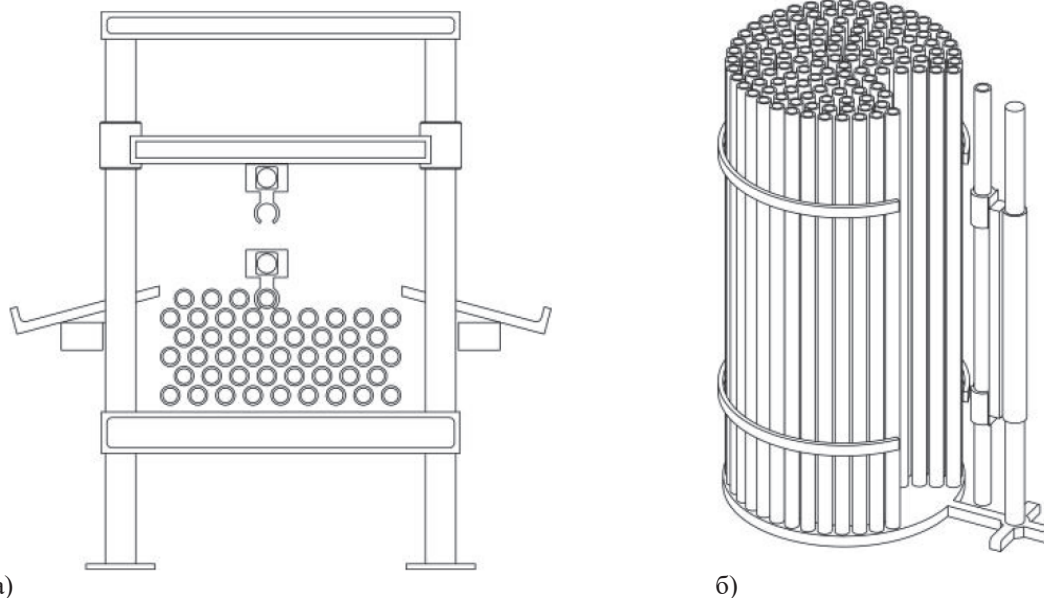


Рисунок 5. Схемы систем для хранения труб горизонтального (а) и вертикального (б) типов

### Выводы

Анализ зарубежной и российской научнотехнической литературы в области бурения, текущего и капитального ремонта, эксплуатации скважин показал, что буровые компании развивают и вкладывают значительные средства в автоматизацию и роботизацию технологических процессов. Результаты исследования указывают на зарождение тенденций роста автоматизации и роботизации операций текущего и капитального ремонта скважин.

Выявлено, что наиболее трудоёмкими операциями ремонта скважин являются спускоподъёмные операции и подготовительнозаключительные работы. Трудозатраты данных операций составляют не менее 40 % и 16 % соответственно в общем объёме работ по ремонту скважин.

Для повышения эффективности выполнения данных операций рекомендовано применение следующих роботизированных модулей:

- роботизированные ключи;
- автоматизированные приёмные мостки с системой складирования и подачи НКТ или штанг к устью скважин;
- автоматическая система для монтажа и демонтажа поясов крепления КРБК к НКТ;
- автоматизированная система для спуска и подъёма НКТ — автоматические спайдер и элеватор.

Для достижения синергетического эффекта от внедрения роботизированных решений в процессы ремонта скважин необходимо рассматривать создание единого робототехнического комплекса, который обеспечит инновационный прорыв при проведении ремонта скважин.

### СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Варшавский А.Е. Проблемы развития прогрессивных технологий: робототехника // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2017. Т. 4, № 4. С. 682–697.
2. International Federation of Robotics. World Robotics 2017 Industrial Robots, 2017. P. 15–24.
3. Авербух В.М. Шестой технологический уклад и перспективы России (краткий обзор) // Вестник Ставропольского государственного университета. 2010. № 71. С. 159–166.

4. Комков Н.И., Бондарева Н.Н. Перспективы и условия развития робототехники в России // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2016. № 2. С. 8–21.

5. The Upstream Oil and Gas Digital Trends Survey (Accenture, Microsoft). 2017. URL: [https://newsroom.accenture.com/news/upstream-companies-expect-shorter-time-to-produce-oil-and-gas-due-to-digital-technology-investments-finds-new-research-from-accenture-and-microsoft.htm?\\_ga=2.100936257.1327688766.1560411988-1904672038.1560411988](https://newsroom.accenture.com/news/upstream-companies-expect-shorter-time-to-produce-oil-and-gas-due-to-digital-technology-investments-finds-new-research-from-accenture-and-microsoft.htm?_ga=2.100936257.1327688766.1560411988-1904672038.1560411988).

## REFERENCES

1. Varshavskiy A.Ye. Problemy razvitiya progressivnykh tekhnologiy: robototekhnika [Problems of the Development of Advanced Technologies: Robotics]. *MIR (Modernizatsiya. Innovatsii. Razvitiye) — MIR (Modernization. Innovation. Research)*, 2017, Vol. 4, No. 4, pp. 682–697. [in Russian].
2. *International Federation of Robotics. World Robotics 2017 Industrial Robots*, 2017, pp. 15–24.
3. Averbukh V.M. Shestoy tekhnologicheskii uklad i perspektivy Rossii [The Sixth Technological Setup and Perspectives of Russia (Abstract)]. *Vestnik Stavropol'skogo gosudarstvennogo universiteta — Bulletin of the Stavropol State University*, 2010, No. 71, pp. 159–166. [in Russian].
4. Komkov N.I., Bondareva N.N. Perspektivy i usloviya razvitiya robototekhniki v Rossii [The Perspectives and the Conditions of the Robotics Development in Russia]. *MIR (Modernizatsiya. Innovatsii. Razvitiye) — MIR (Modernization. Innovation. Research)*, 2016, No. 2, pp. 8–21. [in Russian].
5. *The Upstream Oil and Gas Digital Trends Survey (Accenture, Microsoft)*. 2017. URL: [https://newsroom.accenture.com/news/upstream-companies-expect-shorter-time-to-produce-oil-and-gas-due-to-digital-technology-investments-finds-new-research-from-accenture-and-microsoft.htm?\\_ga=2.100936257.1327688766.1560411988-1904672038.1560411988](https://newsroom.accenture.com/news/upstream-companies-expect-shorter-time-to-produce-oil-and-gas-due-to-digital-technology-investments-finds-new-research-from-accenture-and-microsoft.htm?_ga=2.100936257.1327688766.1560411988-1904672038.1560411988).

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

## ABOUT THE AUTHORS

**Сенькин Антон Станиславович**, главный специалист отдела роботизации производственных процессов, ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа, Российская Федерация

**Anton S. Senkin**, Chief Specialist of Robotization of Industrial Processes Department, RN-BashNIPIneft LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: SenkinAS@bnipi.rosneft.ru

**Краевский Николай Николаевич**, старший эксперт, ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа, Российская Федерация

**Nikolay N. Kraevskiy**, Senior Expert, RN-BashNIPIneft LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: KraevskyNN@bnipi.rosneft.ru

**Ильин Константин Олегович**, начальник отдела роботизации и производственных процессов, ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа, Российская Федерация

**Konstantin O. Ilyin**, Head of Robotization of Industrial Processes Department, RN-BashNIPIneft LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: IlinKO@bnipi.rosneft.ru

**Мунасыпов Рустем Анварович**, доктор технических наук, профессор кафедры технической кибернетики, УГАТУ, г. Уфа, Российская Федерация

**Rustem A. Munasypov**, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Technical Cybernetics Department, USATU, Ufa, Russian Federation

e-mail: rust40@mail.ru