

УДК 621.643.07:622.323

ОЦЕНКА РЕСУРСА И АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ АРМИРОВАННЫХ ТРУБ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ

А. О. МАЛЫШКО¹, В. В. БУРДУЛИ¹, А. Б. НЕВЗОРОВА²

¹*Образовательно-научный кластер «Институт высоких технологий»
Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Балтийский федеральный университет
имени Иммануила Канта», г. Калининград, Российская Федерация*

²*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Аннотация. Проведена комплексная оценка ресурса и анализ эксплуатационных особенностей полимерных армированных труб (ПАТ) на объектах нефтегазодобычи. На основе системного обзора научно-технической литературы выявлены ключевые дестабилизирующие факторы, влияющие на прочность ПАТ: пермеация флюидов и газов, температурные деградации полимерной матрицы, расслоение полимерной структуры при циклических нагрузках. Проведен сравнительный анализ методик расчета прочности, демонстрирующий неприменимость классических подходов для стальных труб к анизотропным материалам ПАТ. Предложены технические и технологические решения для повышения надежности, включая методы неразрушающего контроля и распределенные волоконно-оптические системы мониторинга.

Ключевые слова: полимерные армированные трубы, нефтегазовые месторождения, оценка ресурса, надежность трубопроводных систем, пермеация газов и флюидов.

Для цитирования. Малышко, А. О. Оценка ресурса и анализ особенностей использования полимерных армированных труб на объектах нефтегазодобычи / А. О. Малышко, В. В. Бурдули, А. Б. Невзорова // Нефтегазовый инжиниринг. – 2026. – № 1 (4). – С. 74–82.

RESOURCE ASSESSMENT AND FEATURE ANALYSIS THE USE OF POLYMER REINFORCED PIPES AT OIL AND GAS PRODUCTION FACILITIES

A. O. MALYSHKO¹, V. V. BURDULI¹, A. B. NEVZOROVA²

¹*Educational and Scientific Cluster “Institute of High Technologies”
Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russian Federation*

²*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

Annotation. This article presents a comprehensive assessment of service life and an analysis of operational features of polymer reinforced pipes (PRPs) at oil and gas production facilities. Based on a systematic review of scientific and technical literature, key destabilizing factors affecting PRP strength are identified: fluid and gas permeation, thermal degradation of the polymer matrix, and delamination of the polymer structure under cyclic loading. A comparative analysis of strength calculation methodologies is conducted, demonstrating the inapplicability of classical approaches used for steel pipes to the anisotropic materials of PRPs. Technical and technological solutions for enhancing reliability are proposed, including non-destructive testing methods and distributed fiber-optic monitoring systems.

Keywords: polymer reinforced pipes, oil and gas fields, service life assessment, pipeline reliability, gas and fluid permeation.

For citation. Malyshko A. O., Burduli V. V., Nevzorova A. B. Resource assessment and feature analysis the use of polymer reinforced pipes at oil and gas production facilities. *Oil and gas engineering*, 2026, no. 1 (4), pp. 74–82 (in Russian).

Введение. Среди материалов для трубопроводов на местах нефтегазодобычи преимущество всегда отдавалось металлическим, а в частности, стальным трубам. Более 300 тыс. км разветвленной системы нефте-, газо-, продуктопроводов диаметром от 114 до 1020 мм было построено в 1970–2000 гг. В настоящее время проводится обновление стальных трубопроводов, так как без применения противокоррозионных средств защиты в зависимости от условий эксплуатации срок их безаварийной службы не превышает 10–25 лет. Для сравнения: в промышленных условиях такие трубопроводы часто эксплуатируются не более 1–2 лет, так как нефть содержит различные примеси (соли и серы), которые являются агрессивными по отношению к стали, что приводит к быстрой коррозии и износу стального оборудования. После многих десятилетий добычи углеводородов более половины фонда стальных трубопроводов требует ремонта или срочной замены, и, возможно, оптимальным решением будет применение *полимерных армированных труб* (ПАТ) из композитных материалов [1]. Эти трубы обладают химической инертностью к возникновению коррозии, а также ПАТ являются более гибкими и дешевыми, но при этом прочными [2]. Подобные решения практиковались последние 20–30 лет, с момента, когда появились неметаллические трубные материалы (НМТ), которые успешно используются в качестве внутренней футеровки и отдельных труб в нефтегазовой промышленности, что является перспективным направлением в борьбе с коррозией. Однако НМТ по своей природе подвержены постепенному разрушению из-за ползучести, усталости, проницаемости, дефектов обработки и ошибок при монтаже [3]. В присутствии кислых газов (CO_2 , H_2S) и углеводородов под высоким давлением и при высокой температуре основной причиной разрушения ПАТ является проницаемость, что может вызвать повреждения, вызванные проникновением посторонних веществ.

Цель работы. Оценка ресурса и анализ особенностей использования ПАТ с обзором технических и технологических приемов по повышению надежности ПАТ и увеличению срока их службы на нефтегазовых месторождениях.

Методология выполнения работы. Представленная статья основана на системном подходе, который включал в себя поиск информации по ключевым словам в открытых базах данных Elibrary, Google Scholar за период 2000–2026 гг. Был найден 121 источник. Критерии отбора: научно-технические статьи в рецензируемых журналах на русском и английском языках. После исключения дубликатов и нерелевантных статей (по названию и аннотации) в финальный анализ вошли 13 статей, содержащих количественные и качественные данные о стальных и полимерных армированных трубах, применяемых в новых и реконструированных трубопроводах.

Особенности использования полимерных армированных труб на нефтегазовых месторождениях. Обзор воздействующих факторов. Полимерные армированные трубы – это конструкция, которая содержит внутри двухкамерный стальной проволочный каркас и полимерную матрицу. Полимерные армированные трубы, как правило, состоят из трех основных слоев: внутренний слой представляет собой полиэтилен низкого давления высокой плотности, он обеспечивает гладкую внутреннюю поверхность с улучшенными характеристиками потока; силовой слой – обеспечивается с помощью армирования, армирующие слои припаиваются к другим слоям в процессе изготовления; наружный слой состоит из высокоплотного полиэтилена, кото-

рый стабилизирован для обеспечения повышенной стойкости к ультрафиолетовым лучам [2] (рис. 1).

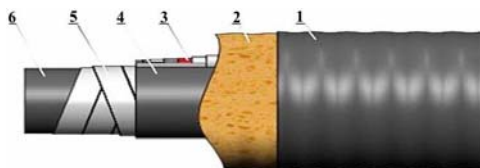


Рис. 1. Конструктивная схема полимерной армированной трубы:

1 – оболочка полимерной армированной трубы; 2 – теплоизоляция; 3 – греющий кабель; 4 – дополнительный слой полимерной матрицы; 5 – армирующий слой; 6 – внутренний слой (лайнер полимерной армированной трубы)

Источник. URL: <https://ogsnc.com/materials/MP.07/MP.07.04/MP.07.04.01/MP.07.04.01.02/MP.07.04.01.02.06>.

Fig. 1. Structural diagram of polymer reinforced pipe:

1 – shell of polymer reinforced pipe; 2 – thermal insulation; 3 – heating cable; 4 – additional layer of polymer matrix; 5 – reinforcing layer; 6 – inner layer (polymer reinforced pipe liner)

Source. URL: <https://ogsnc.com/materials/MP.07/MP.07.04/MP.07.04.01/MP.07.04.01.02/MP.07.04.01.02.06>.

После начала активного применения полимерных армированных труб было выявлено, что условия внешней среды и эксплуатации имеют особое влияние на ПАТ.

Выделим несколько основных воздействующих эксплуатационных факторов:

- повышенные температуры снижают вязкость полимеров, что может привести к оголению и коррозии металлического каркаса. В связи с этим для используемых в трубопроводах полимерах установлены строгие температурные ограничения, при которых эксплуатация не допускается при температуре выше $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$;

- пониженные температуры, в свою очередь, повышают хрупкость используемых полимеров, в особенности при ударных нагрузках. Также ПАТ более чувствительны к высоким давлениям, чем стальные трубы, потому что это может привести к разрушению самого армирующего каркаса, поэтому критически важно производить постоянный мониторинг рабочего давления;

- гидравлические удары и чрезмерная опрессовка могут приводить к появлению кольцевых трещин в уязвимых местах – в местах стыковых соединений, где отсутствует армирование;

- пермеация – молекулярный процесс проникновения газов и флюидов через полимерную внутреннюю оболочку – является основным фактором деградации полимерных трубопроводов. Проникающие газы могут вызвать коррозию металлической арматуры внутри трубы, а вода, попавшая между слоев, – увеличивать давление;

- влияние динамических нагрузок – при быстром росте давления могут происходить конструктивные изменения армированного слоя внутреннего каркаса трубы [4];

- сильное влияние ультрафиолетового излучения, которое может повлечь за собой охрупчивание и растрескивание внешней оболочки трубы, если не предусмотреть дополнительную защиту;

- циклические нагрузки – это повторяющиеся во времени изменения механических напряжений, возникающие при эксплуатации трубопроводов. Они представляют особую угрозу для ПАТ из-за их слоистой композитной структуры. При циклических нагрузках расслоение – это основной механизм разрушения полимерных армированных труб. К основным причинам расслоения относят межслойные касательные напряжения при изгибе, снижение адгезии между полимерными слоями и арматурой и накопление микрповреждений на границах раздела фаз. Последствиями расслоения являются образование полостей между слоями и заполнение эти полостей флюидами

или газом, что приводит к увеличению внутреннего давления и коррозии арматуры;

– циклические деформации вызывают такие повреждения, как накопление микротрещин и термомеханическое старение в самом полимере [4]. Эти процессы ведут к потере физических (снижение модуля упругости, увеличения проницаемости) и конструктивных (размягчение полимера, снижение адгезии к арматуре) свойств полимерных армированных труб.

Для удобства сравнения различных факторов, которые влияют на стальные и полимерно-армированные трубы на объектах нефтегазодобычи, ниже приведена табл. 1.

Таблица 1. Сравнительная таблица факторов, воздействующих на полимерные армированные и стальные трубы

Table 1. Comparative table of factors affecting polymer reinforced and steel pipes

Фактор воздействия	Полимерные армированные трубы	Стальные трубы
Коррозия	Полимеры устойчивы к коррозии, но металлическая арматура уязвима при нарушении целостности оболочки	Подвержены электрохимической коррозии (внутренней и внешней). Требуют активной и пассивной электрохимической защиты
Давление	Максимальное рабочее давление находится на стадии расчетов (проектирование и строительство ПАТ на нефтепромыслах с рабочим давлением до 4 МПа с запасом прочности не менее 3) [5]. При резких перепадах давления возникает риск разрыва арматуры в местах соединений	Высокая прочность разрыва и устойчивость к гидродарам
Химическая агрессивность среды	Сами полимеры устойчивы к кислым газам, однако подвержены трудно диагностируемой пермеации	В средах с высоким содержанием сероводорода и углекислого газа коррозия достигает быстрых темпов [6]
Механические нагрузки	ПАТ имеют меньшую ударную вязкость при температурах ниже нуля	Сталь имеет высокую жесткость, но подвержена усталостному разрушению
Температурный режим	Температурный режим ограничен ввиду температурного размягчения полимеров	Проверено, что работают при высоких температурах без потери необходимых механических свойств

Описанные воздействующие эксплуатационные факторы в большей степени влияют на физические и конструктивные свойства полимерных материалов и поэтому требуют особого внимания при расчетах прочности полимерных армированных труб.

Расчет ресурса полимерных армированных труб, используемых на нефтегазовых месторождениях, и определение их надежности. Управление качеством полимерных армированных труб и в целом расчет их прочности остается малоизучен-

ной областью, поскольку требует проведения комплексных исследований, связанных с разработкой специального математического аппарата, физико-химическими испытаниями материалов и разработкой соответствующих методик [3]. Сейчас присутствует широкое поле для работ в направлении продолжения проведения расчетов на прочность полимерных армированных труб ввиду активного развития трубопроводных систем неметаллического типа и их использования. Расчеты должны быть связаны с проведением комплексных испытаний, а также с накоплением статистики.

Механическое поведение полимерных армированных труб изучалось, начиная с 70-х гг. XX в. [7]. Отсутствие обоснованных методов прочностного расчета и эксплуатационных характеристик армированных труб приводит к тому, что используются методы, не учитывающие температурно-временные зависимости прочности. Примером может служить расчет рабочего давления на основе разрывного давления и произвольно назначенных коэффициентов запаса прочности [1].

Для стальных труб при расчете их на прочность используют комплексный, стандартизированный подход, который опирается на классическую механику материалов, расчет коррозионной стойкости, усталости и применяется согласно обширной нормативной базе. Эти методы и физико-математические формулы неприменимы к ПАТ, потому что обладают принципиально иными свойствами. Например, вместо изотропии стальных труб свойства ПАТ зависят от направления армирования, и при расчетах должна применяться теория слоистых композитов, микромеханика.

К основным показателям надежности полимерных армированных труб относятся прочностные характеристики, температурная устойчивость, деформационные показатели, долговечность и герметичность. Ресурс надежности ПАТ оценивается несколькими основными методами: длительные гидростатические испытания по ISO 9080, испытания в агрессивных средах, термохимическое моделирование для прогноза деградации полимерной матрицы и мониторинг уже после введения в эксплуатацию с помощью внедрения оптоволоконных или акустических датчиков. А также к оценке надежности ПАТ применяются специализированные стандарты, например, ГОСТ Р 59834-2021, ГОСТ Р 70623-2023, ГОСТ Р 54867-2011, API 15S.

Для наглядности различий подходов к оценке ресурса надежности и расчета прочности ниже представлена табл. 2.

Таблица 2. Сравнительная таблица расчета ресурса надежности для стальных и полимерных армированных труб на объектах нефтегазодобычи

Table 2. Comparative table for calculating the reliability resource for steel and polymer reinforced pipes at oil and gas production facilities

Критерий оценки	Полимерные армированные трубы	Стальные трубы
Физическая модель материала	Анизотропная вязкоупругий материал, хрупкое разрушение без предупреждения (отсутствие пластической зоны) [1]	Линейная упругость до предела текучести, изотропный упругопластичный материал
Базовый расчет прочности	Расчет по слоистой теории композитов, применение микромеханики, учет ориентации волокон [1]	Используется формула Барлоу, коэффициенты запаса по пределу текучести, учет комбинированных нагрузок по критерию фон Мизеса
Учет времени	Расчет ресурса основан на экстраполяции кратковременных испытаний [8]	Усталость, статический расчет достаточен для проектирования

Окончание табл. 2

Final table 2

Критерий оценки	Полимерные армированные трубы	Стальные трубы
Учет агрессивных сред	Деградация полимера под действием кислых газов, отсутствует коррозионная прибавка [4]	Коррозионная прибавка к толщине стенки, оценка скорости коррозии по данным мониторинга
Температурные ограничения	Резкое падение прочности при температуре стеклования полимерной матрицы	Свойства стали стабильны до 300–400 °С
Оценка остаточного ресурса	Отсутствие утвержденной отраслевой методики, требуются специализированные методы	Измерение остаточной толщины стенки, расчет остаточной прочности по различным моделям

Надежность композитных труб нельзя оценивать по тем же критериям, что и сталь, требуется специализированный подход, основанный на механике разрушения композитов [9].

Технические и технологические приемы по повышению надежности полимерных армированных труб на нефтегазовых месторождениях. Минимизация воздействия эксплуатационных факторов на ПАТ на нефтегазовых месторождениях для повышения их надежности достигается путем применения различных технических и технологических подходов. Для обеспечения надежной эксплуатации применяются несколько групп методов. Например, конструктивные и материальные методы – повышение межслойной адгезии с помощью применения плазменной активации поверхностей для улучшения сцепления между полимерной матрицей и армирующим слоем, а также разработка новых марок полиэтилена, устойчивых к более высоким температурам [10].

Вторая группа методов – это технологические методы производства. К ним относятся автоматизированные системы управления процессами производства ПАТ и неразрушающий контроль. При использовании методов НК наибольшую популярность имеют ультразвуковая дефектоскопия для выявления расслоений и вихретоковая диагностика для выявления локальных дефектов в структуре полиэтилена [11].

Следующая группа – это улучшение методов монтажа и соединений труб. Так как места соединений ПАТ являются уязвимыми, то используется терморезисторная сварка и электромужфтовые соединения, чтобы обеспечить герметичность стыков, а также проводятся обязательные гидравлические испытания на прочность и герметичность. Далее – группа эксплуатационных мер: применение волоконно-оптических датчиков (распределенные системы мониторинга) для раннего обнаружения повреждений и защитных кожухов для минимизации воздействия перепадов температур и ультрафиолетового излучения [12].

На рис. 2 показана система волоконно-оптических датчиков для раннего обнаружения дефектов ПАТ.

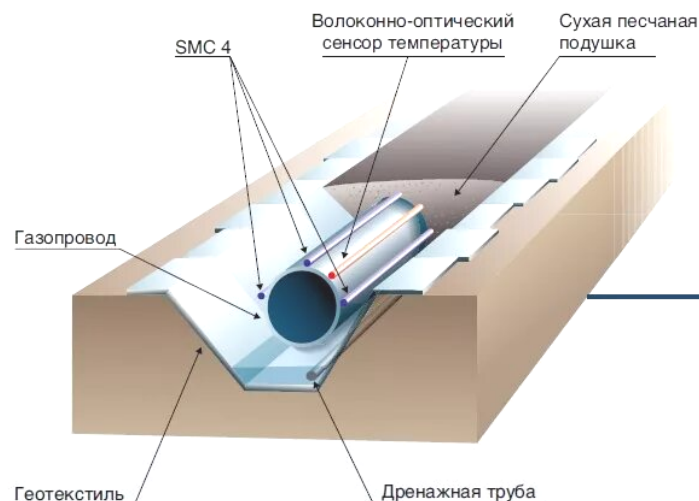


Рис. 2. Схематическое изображение технологии укладки волоконно-оптических датчиков

Fig. 2. Schematic representation of the technology of laying fiber-optic sensors

Волоконно-оптические датчики используются для мониторинга состояния трубопроводов в реальном времени, обеспечивая контроль за различными параметрами в зависимости от назначения датчиков. Они позволяют своевременно и точно обнаружить утечки, коррозию и, что применимо к ПАТ, деформацию труб и изменение давлений. Оптическое волокно может прокладываться непосредственно на трубопроводе или встраиваться в композитные защитные оболочки по всей длине трубопровода, что обеспечивает максимальную чувствительность к изменениям температуры и механическим воздействиям без слепых зон. Принцип работы заключается в преобразовании измеряемой величины в изменение светового сигнала, передаваемого по оптическому волокну.

Таким образом, на объектах нефтегазодобычи используются технические и технологические методы повышения надежности ПАТ в комплексе, что обеспечивает безопасную эксплуатацию полимерных армированных труб, увеличение срока их службы и своевременный контроль за состоянием трубопроводов.

Заключение. Проведенный анализ подтвердил, что обеспечение надежности ПАТ на объектах нефтегазодобычи требует специализированного подхода. Установлено, что ключевыми ограничивающими факторами является пермеация флюидов, температурная деградация полимерной матрицы и расслоение композитной структуры. Расчет ресурса должен базироваться на теории слоистых материалов, микромеханике с учетом свойств вязкоупругих материалов. Для повышения эксплуатационной безопасности рекомендовано внедрение систем распределенного волоконно-оптического мониторинга и методов неразрушающего контроля. Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку отраслевых стандартов оценки прочности и остаточного ресурса и цифровое моделирование деградации ПАТ в агрессивных средах [13].

Благодарность. Авторы выражают особую благодарность кандидату технических наук, доценту БФУ им. И. Канта Павлу Сергеевичу Щербаню за научное руководство, ценные замечания, которые существенно улучшили качество статьи, а также за помощь в подборе необходимой информации.

Gratitude. The authors express special gratitude to Pavel Sergeevich Shcherban, PhD, associate professor at the Immanuel Kant Baltic Federal University, for his scientific supervision, valuable comments that significantly improved the quality of the article, and assistance in collecting the necessary information.

Литература

1. Аношкин, А. Н. Расчет напряженно-деформированного состояния и прогнозирование прочности полимерных армированных труб газового назначения / А. Н. Аношкин, В. Ю. Зуйко, С. Г. Иванов // Вестник Самарского государственного университета. Естественно-научная серия. – 2007. – № 6. – С. 56–66.
2. Техничко-экономическое обоснование применения неметаллических труб для промышленного сбора, магистрального транспорта и распределения нефти, газа и продуктов их переработки / А. А. Гарифуллин, Т. Р. Кускильдин, Р. М. Каримов, А. Ю. Туманова // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2021. – № 4. – С. 18–23.
3. Щербань, П. С. Разработка систем показателей качества полимерных армированных труб и их соединений. Вопросы математической обработки данных / П. С. Щербань // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. – Т. 26, № 2 (118). – С. 80–95.
4. Бикмасов, Р. Г. Проблемы применения полимерно-армированных труб на объектах промысловых нефтегазопроводов / Р. Г. Бикмасов // Вопросы развития современной науки и техники. – 2021. – № 1. – С. 5.
5. Сорокин, А. А. Перспективы строительства газопроводов из новых материалов / А. А. Сорокин, В. И. Поляков, Л. А. Сметанина // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – № 10. – С. 37–41.
6. Щербань, П. С. Нормативное обеспечение внедрения полимерных и полимерных армированных труб в системы промысловых трубопроводов / П. С. Щербань // Справочник. Инженерный журнал. – 2025. – № 9 (342). – С. 57–66. – DOI 10.14489/hb.2025.09.pp.057-066
7. Оценка прочности полимерных армированных трубопроводов / А. В. Хабибуллин, А. С. Глазков, Д. А. Гулин, М. Э. Дусалимов // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2017. – № 6. – С. 27–30.
8. Reinhart, F. W. Long – term hydrostatic strength characteristics of thermoplastics pipe / F. W. Reinhart // Polymer Engineering & Science. – 1966. – Vol. 6, N 4. – P. 285–295.
9. Evaluating the reliability and integrity of composite pipelines in the oil and gas sector: A scientific and systematic analysis / U. S. F. Bahaman, Z. Mustaffa, M. E. A. B. Seghier, T. M. Badri // Ocean Engineering. – 2024. – Vol. 303. – P. 117773.
10. Космачев, П. В. Волокнистые композиты на основе суперконструкционных термопластов / П. В. Космачев, С. В. Панин, С. А. Бочкарева. – Томск : Изд-во Том. гос. ун-та, 2024. – 132 с.
11. Неразрушающий контроль полимерных композиционных материалов методом вихретоковой дефектоскопии в процессе циклического нагружения / П. В. Михеев, С. В. Бухаров, А. К. Лебедев, Р. Сундер // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2023. – № 11 (143). – С. 2–10.
12. Balaji, D. Composite pipes and design for oil and gas industry / D. Balaji // Polymer Composite Systems in Pipeline Repair. – Gulf Professional Publishing, 2023. – P. 45–70.
13. Analysis of Failure Cause in Steel Wire-Reinforced Thermoplastic Composite Pipes for Sour Gas Field Water Transportation / Z. Yu, S. Wen, J. Wang [et al.] // Materials. – 2025. – Vol. 18, N 21. – P. 48–65.

References

1. Anoshkin A. N., Zuiko V. Yu., Ivanov S. G. Calculation of stress-strain state and prediction of strength of polymer reinforced pipes for gas purposes. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvenno-nauchnaya seriya = Vestnik of Samara university. Natural Science Series*, 2007, no. 6, pp. 56–66 (in Russian).
2. Garifullin A. A., Kuskil'din T. R., Karimov R. M., Tumanova A. Yu. Feasibility study of the use of non-metallic pipes for field collection, mainline transportation and distribution of oil, gas and their processing products. *Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya*, 2021, no. 4, pp. 18–23 (in Russian).
3. Shcherban' P. S. Development of quality indicator systems for polymer reinforced pipes and their connections. Issues of mathematical data processing. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2024, vol. 26, no. 2 (118), pp. 80–95 (in Russian).

4. Bikmasov R. G. Problems of application of polymer-reinforced pipes at facilities of field oil and gas pipelines. *Voprosy razvitiya sovremennoi nauki i tekhniki*, 2021, no. 1, p. 5 (in Russian).
5. Sorokin A. A., Polyakov V. I., Smetanina L. A. Prospects for the construction of gas pipelines from new materials. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti = Occupational safety in industry*, 2002, no. 10, pp. 37–41 (in Russian).
6. Shcherban' P. S. Regulatory support for the introduction of polymer and polymer reinforced pipes into field pipeline systems. *Spravochnik. Inzhenernyi zhurnal = Handbook. Engineering journal*, 2025, no. 9 (342), pp. 57–66 (in Russian). <https://doi.org/10.14489/hb.2025.09.pp.057-066>
7. Khabibullin A. V., Glazkov A. S., Gulin D. A., Dusalimov M. E. Assessment of strength of polymer reinforced pipelines. *Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya*, 2017, no. 6, pp. 27–30 (in Russian).
8. Reinhart F. W. Long-term hydrostatic strength characteristics of thermoplastics pipe. *Polymer Engineering & Science*, 1966, vol. 6, no. 4, pp. 285–295.
9. Bahaman U. S. F., Mustaffa Z., Seghier M.E.A.B., Badri T.M. Evaluating the reliability and integrity of composite pipelines in the oil and gas sector: A scientometric and systematic analysis. *Ocean Engineering*, 2024, vol. 303, p. 117773. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.117773>
10. Kosmachev P. V., Panin S. V., Bochkareva S. A. *Fibrous composites based on superconstructive thermoplastics*. Tomsk, Tomsk State University Press, 2024. 132 p. (in Russian).
11. Mikheev P. V., Bukharov S. V., Lebedev A. K., Sunder R. Non-destructive testing of polymer composite materials by eddy current flaw detection during cyclic loading. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii*, 2023, no. 11 (143), pp. 2–10 (in Russian).
12. Balaji D. Composite pipes and design for oil and gas industry. *Polymer Composite Systems in Pipeline Repair*. Gulf Professional Publishing, 2023, pp. 45–70.
13. Yu Z., Wen S., Wang J., Lin J., Xie C., Zeng D. Analysis of Failure Cause in Steel Wire-Reinforced Thermoplastic Composite Pipes for Sour Gas Field Water Transportation. *Materials*, 2025, vol. 18, no. 21, p. 4865.

Информация об авторах

Малышко Анна Олеговна – студентка. Образовательно-научный кластер «Институт высоких технологий» Федерального автономного государственного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» (ул. А. Невского, д. 14, 236041, Калининград, Российская Федерация). E-mail: MOAnna@stud.kantiana.ru

Бурдули Виктория Валерьевна – студентка. Образовательно-научный кластер «Институт высоких технологий» Федерального автономного государственного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» (ул. А. Невского, д. 14, 236041, Калининград, Российская Федерация). E-mail: v1burdull@gmail.com

Невзорова Алла Брониславовна – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Нефтегазоразработка и гидропневмоавтоматика». Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого» (пр. Октября, 48, 246029, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: anevzorova@gstu.by

Information about the authors

Malysenko Anna Olegovna – student. Educational and Scientific Cluster “Institute of High Technologies” Immanuel Kant Baltic Federal University (14, A. Nevskogo Str., 236041, Kaliningrad, Russian Federation). E-mail: MOAnna@stud.kantiana.ru

Burduli Victoria Valerievna – student. Educational and Scientific Cluster “Institute of High Technologies” Immanuel Kant Baltic Federal University (14, A. Nevskogo Str., 236041, Kaliningrad, Russian Federation). E-mail: v1burdull@gmail.com

Nevzorova Alla Bronislavovna – DSc (Engineering), professor, head of the Department of Oil and Gas Development and Hydropneumodynamics. Sukhoy State Technical University of Gomel (48, Oktyabrya Ave., 246746, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: anevzorova@gstu.by

Поступила в редакцию 02.04.2026