

УДК/UDC 681.2.08:622.691.4:543.27

DOI: <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2026-199-106-116>

EDN: SVVHME

Научная статья/Original article

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К УСТРОЙСТВАМ ПОДГОТОВКИ ПРОБЫ СОРБЦИОННО-ЕМКОСТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОЧКИ РОСЫ ПО ВОДЕ В ПРИРОДНОМ ГАЗЕ

С. О. Михин^{1,2}✉, В. А. Ганжа², О. Н. Кошкур³¹Сахалинское линейное производственное управление магистральных трубопроводов

ООО «Газпром трансгаз Томск»,

Россия, 693012, г. Южно-Сахалинск, пр. Мира, 26/5

²Сибирский федеральный университет,

Россия, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79

³ООО «Завод высоковольтных электронных компонентов «Прогресс»,

Россия, 169336, г. Ухта, ул. Советская, 1

✉ serega_11rus@mail.ru

В статье рассмотрена задача формирования технических и эксплуатационных требований к устройству подготовки пробы сорбционно-емкостного преобразователя температуры точки росы по воде в природном газе. Показано, что исключение дополнительного методического смещения результата измерения температуры точки росы по воде требует сохранения влагосодержания и однофазного состояния пробы при ее отборе, дросселировании, транспортировании и подаче в измерительную камеру.

В исследовании был выполнен анализ существующих стационарных и мобильных систем отбора, фильтрации и кондиционирования пробы газа, а также пробоотборных устройств, размещаемых непосредственно в трубопроводе. Показано, что известные решения преимущественно обеспечивают фильтрацию, регулирование давления и расхода, удаление мешающих компонентов или представительный отбор из потока, но ограниченно решают задачу термостабилизации пробы после дросселирования. Отличительной особенностью рассматриваемого устройства подготовки пробы является совмещение в одном конструктивном узле функций отбора пробы из представительной зоны потока, дросселирования, защиты дросселирующих элементов и внутритрубной термостабилизации.

В статье рассмотрены требования к монтажной пластине, теплообменному гребню, теплообменным импульсным трубкам, дросселю, измерительной камере и материалам конструктивных элементов. Показано, что геометрия погружной части, площадь теплообменных поверхностей, длина термостабилизирующих трубок и теплофизические свойства материалов должны рассматриваться как взаимосвязанные параметры, определяющие сохранение однофазного состояния пробы и отсутствие дополнительного методического смещения результата измерения температуры точки росы по воде.

Ключевые слова: природный газ, температура точки росы по воде, влагосостояние газа, сорбционно-емкостной преобразователь, устройство подготовки пробы, представительная проба, пробоподготовка, термостабилизация пробы

Для цитирования: Михин С. О., Ганжа В. А., Кошкур О. Н. Технические и эксплуатационные требования к устройствам подготовки пробы сорбционно-емкостных преобразователей температуры точки росы по воде в природном газе. *Омский научный вестник*. 2026. № 3 (199). С. 106–116. <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2026-199-106-116>. EDN: SVVHME.

TECHNICAL AND OPERATIONAL REQUIREMENTS FOR SAMPLE CONDITIONING DEVICES OF SORPTION AND CAPACITANCE DEW POINT TEMPERATURE TRANSDUCERS FOR WATER IN NATURAL GAS

S. O. Mikhin^{1,2}✉, V. A. Ganzha², O. N. Koshkur³

¹Sakhalin Linear Production Department of Main Pipelines LLC "Gazprom Transgaz Tomsk",
Mira Ave., 26/5, Yuzhno-Sakhalinsk, 693012, Russia

²Siberian Federal University, Svobodny Ave., 79, Krasnoyarsk, 660041, Russia

³High-Voltage Electronic Components Plant "Progress",
Sovetskaya St., 1, Ukhta, 169336, Russia

✉ serega_11rus@mail.ru

The article examines the development of technical and operational requirements for a sample preparation unit for a sorption-capacitive water dew point temperature transmitter in natural gas. The research shows that avoiding an additional methodological bias in water dew point temperature measurement requires preservation of the sample moisture content and single-phase state during sampling, throttling, transportation, and delivery to the measuring chamber.

The paper analyses existing stationary and mobile systems for gas sampling, filtration and sample conditioning, as well as probe-type devices installed directly into pipelines. The authors demonstrate that known solutions primarily provide filtration, pressure and flow rate regulation, removal of interfering components or representative sampling from the stream, but only partially address the problem of thermal stabilization of the sample after throttling. A distinctive feature of the under consideration is the integration of functions within a single structural assembly: extracting the sample from a representative zone of the flow, throttling, protecting the throttling elements and performing intra-pipe thermal stabilization.

The article outlines requirements for the mounting plate, heat exchange fin, impulse tubes with enhanced heat transfer, throttle valve, measuring chamber and construction materials. The authors show that the geometry of the immersion section, the surface area of heat exchangers, the length of the thermal stabilization tubes and the thermophysical properties of materials must be treated as interdependent parameters. These factors collectively determine the preservation of the sample's single-phase state and prevent any additional methodological bias in the water dew point temperature measurement results.

Keywords: natural gas, water dew point temperature, gas moisture state, sorption-capacitive transducer, sample preparation device, representative sample, sample preparation, sample thermal stabilization

For citation: Mikhin S. O., Ganzha V. A., Koshkur O. N. Technical and operational requirements for sample conditioning devices of sorption and capacitance dew point temperature transducers for water in natural gas. *Omsk Scientific Bulletin*. 2026;3(199):106–116. <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2026-199-106-116>. EDN: SVVHME. (In Russ.).



© Mikhin S. O., Ganzha V. A., Koshkur O. N., 2026.
The content is available under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Введение

Топливо-энергетический комплекс Российской Федерации, включающий нефтяную, газовую, угольную и торфяную отрасли, электроэнергетику и теплоснабжение, является основой обеспечения энергетической и национальной безопасности нашего государства, укрепления его обороноспособности и внешнеэкономических связей, вносит значительный вклад в социально-экономическое развитие страны. Существенная доля в этом вкладе принадлежит предприятиям газотранспортной отрасли¹.

Документом «Генеральная схема развития газовой отрасли на период до 2035 года»² предусмотрено увеличение объемов добычи газа до 878 млрд куб. м и увеличение экспорта газа до 368,8 млрд куб. м. Интенсивное развитие газотранспортной системы напрямую связано с разработкой в ближайшей перспективе новых месторождений, строительством заводов и компрессорных станций, обеспечивающих бесперебойное компримирование и сжижение углеводородов, увеличением протяженности сети магистральных трубопроводов.

¹ Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2050 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2025 г. № 908-р.

² Генеральная схема развития газовой отрасли Российской Федерации на период до 2035 года. Одобрена решением Правительства Российской Федерации от 13 мая 2021 г.

Надежность и высокая эффективность работы газотранспортной системы Российской Федерации обеспечивается не только использованием высокотехнологичного современного оборудования, но и качеством транспортируемых углеводородов^{3,4} [1–3]. Значимой качественной характеристикой газа является его влажосостояние. С этой характеристикой связано понятие «температура точки росы по воде» (T_{TPB}) — один из показателей влажности газа, характеризующий его кондиционность [2–4]. Нормативные значения T_{TPB} регламентируются положениями документа ТР ЕАС 046/2018 «О безопасности газа горючего природного, подготовленного к транспортированию и (или) использованию»⁵.

Широкое практическое применение в производственной деятельности компаний ПАО «Газпром», ПАО «Новатэк» и ООО «Сахалинская Энергия» для реализации мероприятий измерительного контроля T_{TPB} в природном газе получили измерители влажности конденсационного и сорбционного типов [2–7]. Техническими и метрологическими характеристиками этих приборов обеспечивается возможность их промышленного применения и измерения температуры точки росы по воде в широком диапазоне значений, включая область положительных и отрицательных температур транспортируемой среды⁶.

Более широкое применение, по сравнению с конденсационными, получили измерители влажности сорбционного типа, обеспечивающие непрерывность измерения, сравнительно малую инерционность, конструктивную простоту и возможность применения в широком диапазоне содержания водяных паров⁷ [2, 3, 8]. Такими приборами обеспечивается более широкий диапазон измерений T_{TPB} от +20 до –110 °С, и их конструкция непрерывно совершенствуется. Так, в работах [9, 10] приведено описание перспективной конструкции сорбционно-емкостного сенсора влажности, включающей алюминиевую основу (подложку), нанесенный на нее пористый влагочувствительный слой, поверх которого размещен пористый влагопроницаемый электрод. Описаны также особенности основных технологических этапов процесса изготовления этого изделия и представлены результаты его заводских испытаний.

В рабочем диапазоне T_{TPB} от +20 до –100 °С получены следующие значения основных электрических и метрологических показателей сенсора:

- электрическая ёмкость $C = 2061,60 \div 273$ пкФ;
- электрическое сопротивление $R = 1,53 \div 18,420$ МОм.

Значения относительного гистерезиса выходного электрического параметра сенсора — электрической емкости, составляют:

- при T_{TPB} от +20 до –10 °С — менее 5 %;

- при T_{TPB} от –20 до –60 °С — менее 1 %;
- при T_{TPB} от –70 до –100 °С — менее 0,5 %.

Полученные результаты свидетельствуют о пригодности новых сенсоров для применения в прецизионных измерителях влажности при решении практических задач газовой гигрометрии [8–10].

Метрологические характеристики чувствительного элемента определяют погрешность преобразователя только при подаче к нему представительной пробы. Изменение температуры, давления, фазового состояния или влажосодержания пробы при ее отборе и транспортировании создает дополнительное методическое смещение результата измерения T_{TPB} . В настоящей работе влияние устройства подготовки пробы оценивается по условию сохранения однофазного состояния и неизменности влажосодержания пробы, а не посредством самостоятельного показателя достоверности устройства подготовки пробы (УПП) [7, 8, 11]. Измерение T_{TPB} в природном газе связано с необходимостью подачи к сенсору представительной пробы, состав, фазовое и температурное состояние которой не должны искажаться в процессе отбора, редуцирования, транспортирования и подачи в измерительную камеру [4, 7, 11]. Поэтому наряду с совершенствованием чувствительных элементов требуется формирование специальных условий пробоподготовки, включающих представительный отбор газа, снижение давления пробы, предотвращение сорбционных потерь и конденсации, защиту пробоотборного тракта от механических включений, стабилизацию расхода и температуры пробы перед ее контактом с чувствительным элементом [11, 12].

Особую значимость пробоподготовка приобретает при измерении T_{TPB} в магистральных газопроводах, где изменение давления и температуры газа может приводить к изменению влажосодержания насыщенного газа, конденсации воды, образованию газовых гидратов и соответствующему искажению состава отбираемой пробы [4, 13–18]. Следовательно, устройство подготовки пробы должно рассматриваться как функционально значимая часть измерительного преобразователя, обеспечивающая сохранение термодинамической представительности анализируемой пробы и достоверность последующего измерения T_{TPB} .

Цель и задачи исследования

Целью настоящей работы является формирование и обоснование технических и эксплуатационных требований к устройству подготовки пробы сорбционно-емкостного преобразователя температуры точки росы по воде в природном газе с учетом условий отбора, дросселирования, термостабилизации и подачи представительной пробы к чувствительному элементу измерителя влажности.

³ СТО Газпром 089–2010. Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам. Технические условия. Введ. 25.10.2010. Москва: Газпром ВНИИГАЗ, 2011. 19 с.

⁴ СТО Газпром 2-3.5-051–2006. Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов. Введ. 30.12.2005. Москва: Газпром ВНИИГАЗ, 2005. 205 с.

⁵ Технический регламент Евразийского экономического союза ТР ЕАЭС 046/2018 «О безопасности газа горючего природного, подготовленного к транспортированию и (или) использованию». Утвержден решением Совета Евразийской экономической комиссии от 14 сентября 2018 г. № 74.

⁶ ГОСТ Р 53763–2009. Газы горючие природные. Определение температуры точки росы по воде. Введ. 15.12.2009. Москва: Газпром ВНИИГАЗ, 2009. 39 с.

⁷ Преобразователь температуры точки росы воды в искробезопасном исполнении Easidew PRO I.S. Руководство по монтажу, эксплуатации и техническому обслуживанию. Версия 1.1. Москва: Регуляр, 2012. 24 с.

Методический подход к формированию перечня технических и эксплуатационных требований основан на анализе условий эксплуатации УПП, функций его конструктивных элементов, особенностей дросселирования пробы, теплообмена между потоком транспортируемого газа и пробоотборным трактом, а также требований к сохранению однофазного состояния и термодинамической представительности пробы.

Результаты анализа известных систем отбора, фильтрации и кондиционирования пробы природного газа

В настоящее время для обеспечения работоспособности промышленных измерителей влажности применяются различные системы отбора, фильтрации и кондиционирования пробы газа. К ним относятся стационарные технологические системы пробоподготовки, выполняемые в виде панелей или шкафов с трубной обвязкой, фильтрами, регуляторами давления, расходомерами и средствами поддержания температурного режима. Например, система отбора проб Michell Instruments ES70 предусматривает варианты панельного или шкафного исполнения, гибкую конфигурацию фильтрации, регулирование давления и расхода, применение трубок и фитингов из нержавеющей стали, а также подключение к процессу через фитинги 6 мм или 1/4 дюйма. Такие системы предназначены для формирования стабильных условий подачи пробы к анализатору и обеспечения воспроизводимых результатов измерений⁸.

Отдельную группу составляют мобильные фильтрующие комплексы, предназначенные для предварительной очистки пробы от компонентов, мешающих измерению. Так, мобильный фильтрующий комплекс МФК–01 предназначен для фильтрации пробы газа от паров легких и тяжелых углеводородов, а также гликолей; при этом производителем указывается, что концентрация паров воды в пробе газа остается неизменной. Комплекс рекомендован для применения при измерении точки росы конденсационными гигрометрами в условиях присутствия в газе значительного количества углеводородов, конденсирующихся раньше воды⁹.

Кроме внешних систем фильтрации и кондиционирования, в измерительной практике применяются пробоотборные устройства, размещаемые непосредственно в трубопроводе. В ГОСТ 31370–2023 пробоотборный зонд определяется как приспособление, введенное в полость газопровода, аппарата или емкости для отбора представительной пробы природного газа¹⁰.

Такие устройства предназначены прежде всего для получения представительной пробы из потока и уменьшения влияния пристеночных зон, локаль-

ной неоднородности состава и гидродинамических возмущений [11].

В нормативной документации по отбору проб углеводородных сред также рассматриваются пробоотборные зонды щелевого типа, состоящие из стабилизатора и пробоотборной трубки; конструкция такого зонда может предусматривать одно или несколько отверстий для отбора пробы из потока¹¹.

Указанные решения выполняют важные функции отбора, подготовки и очистки пробы, однако по своей сущности решают преимущественно частные задачи пробоотборного тракта. Стационарные и мобильные системы обеспечивают фильтрацию, регулирование давления, регулирование расхода, удаление мешающих компонентов или стабилизацию условий подачи газа к анализатору, а трубчатые и щелевые пробоотборные зонды — представительный отбор пробы из потока. При этом задача сохранения термодинамической представительности пробы непосредственно в момент ее отбора из магистрального газопровода и после дросселирования решается ограниченно, поскольку в известных схемах проба, как правило, транспортируется по внешним линиям, в которых возможно изменение ее температуры, фазового состояния и времени отклика измерительной системы, что способствует снижению достоверности результатов измерения температуры точки росы по воде [7, 11].

Общее описание перспективной конструкции устройства подготовки пробы природного газа

Отличительной особенностью перспективного устройства подготовки пробы является совмещение в одном конструктивном узле функций отбора пробы из представительной зоны газового потока, дросселирования, защиты дросселирующих элементов от механических включений и термостабилизации отобранной пробы перед подачей в измерительную камеру сорбционно-емкостного преобразователя ТТР_в.

В отличие от внешних фильтрующих и кондиционирующих систем, а также от трубчатых и щелевых пробоотборных зондов, теплообменные элементы УПП размещаются в зоне потока транспортируемого газа и образуют с теплообменными импульсными трубками единую термодинамическую систему¹².

За счет этого теплота транспортируемого газа используется для компенсации температурного снижения отобранной пробы после ее редуцирования, что позволяет уменьшить вероятность достижения локальной температуры насыщения по воде, выпадения конденсата и образования гидратных или ледяных отложений на элементах пробоотборного тракта [13, 16–18].

⁸ Michell Instruments. ES70 Sampling System. User's Manual. URL: <https://www.processsensing.com/docs/manual/ES70%2097506%20Manual.pdf>. (дата обращения: 16.06.2026).

⁹ Мобильный фильтрующий комплекс МФК-01. НПО «Вымпел». URL: <https://vymfel.group/products/gas-analyzers/mobilnyy-filtruyushchiy-kompleks-mfk-01/> (дата обращения: 16.06.2026).

¹⁰ ГОСТ 31370–2023. Газ природный. Руководство по отбору проб. Введ. 01.01.2025. Москва: Институт стандартизации, 2023. 66 с.

¹¹ ГОСТ Р 55609–2013. Отбор проб газового конденсата, сжиженного углеводородного газа и широкой фракции легких углеводородов. Общие требования. Введ. 01.07.2015. Москва: Стандартинформ, 2014. 36 с.

¹² Пат. 195209 U1 Российская Федерация, МПК G 01 N 1/22. Устройство отбора пробы газа проточное нормализующее / Копчиков А. Е., Михин С. О., Киборт И. Д., № 2018142152; заявл. 29.11.2018; опубл. 17.01.2020. EDN: KLJWNP.

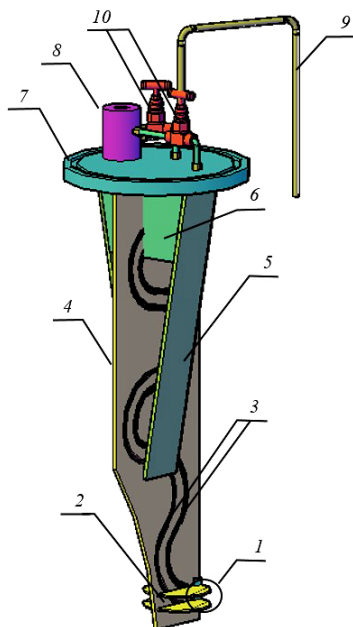


Рис. 1. Концептуальное изображение устройства подготовки пробы преобразователя сорбционно-емкостного температуры точки росы по воде в природном газе:

- 1 — место установки дросселей;
- 2 — противообледенительные ребра; 3 — теплообменные импульсные трубки;
- 4 — теплообменный гребень;
- 5, 6 — ребра жесткости;
- 7 — монтажная пластина;
- 8 — измерительная камера;
- 9 — сбросная трубка;
- 10 — игольчатые вентили

Fig. 1. Conceptual representation of the sorption and capacitive water dew point temperature converter for natural gas:

- 1 — location of throttle installation;
- 2 — anti-icing fins;
- 3 — heat exchange pulse tubes;
- 4 — heat exchange comb;
- 5, 6 — stiffeners; 7 — mounting plate;
- 8 — measuring chamber;
- 9 — discharge tube;
- 10 — needle valves

Источник / Source: разработано авторами / compiled by the authors

Результаты современных исследований показывают, что фазовое состояние водяных паров и вероятность гидратообразования в природном газе существенно зависят от сочетания давления, температуры, состава газа и характера теплообмена [4, 13–18]. Требования к материалам и конфигурации пробоотборного тракта также должны учитывать возможность сорбции определяемых компонентов и изменения состава пробы при ее транспортировании [7, 11].

Научная новизна работы состоит в формулировке критерия сохранения термодинамической представительности редуцированной пробы и в представлении устройства подготовки пробы как единой сопряженной тепло-гидродинамической системы. Критерий выполняется при следующих условиях: во всех сечениях пробоотборного тракта температура пробы превышает локальную температуру точки росы по воде при соответствующих значениях дав-

ления и компонентном составе газа не менее чем на заданный температурный запас.

В отличие от поэлементного задания параметров предложенный подход связывает пространственное положение дросселирующих элементов, площадь теплообменных поверхностей, длину и диаметр импульсных трубок, а также теплофизические свойства материалов.

Новым результатом является расчетный принцип формирования требований к УПП по условию недопущения фазового перехода и изменения влагосодержания пробы.

Таким образом, подготовка пробы к контролю должна обеспечивать ее отбор из представительной зоны газового потока, дросселирование с последующей подачей через теплообменные импульсные трубки в измерительную камеру, выравнивание температуры пробы, изменившейся при дросселировании, до значений температуры транспортируемого по трубопроводу газа, а также физическую защиту дросселирующих устройств от воздействия механических частиц, содержащихся в потоке.

Выполнение перечисленных выше функций обеспечивается конструкцией УПП, концептуальное изображение которого представлено на рис. 1.

Конструкция УПП включает монтажную пластину 7, теплообменный гребень 4, ребра жесткости 5 и 6, противообледенительные ребра 2 с установленными на них в зоне 1 дросселями, теплообменные импульсные трубки 3, измерительную камеру 8, игольчатые вентили 10 и сбросную трубку 9. Конструктивные элементы УПП, расположенные ниже монтажной пластины 7, относятся к погружной части устройства. Монтажная пластина 7 и конструктивные элементы УПП, расположенные на ней, относятся к наружной части устройства. Проба газа отбирается из транспортируемого по трубе потока через дроссели, расположенные на противообледенительных ребрах 2, и перемещается по импульсным теплообменным трубкам 3 в измерительную камеру 8 за счет разности значений давления внутри трубы и атмосферного давления.

По мере прохождения отобранной пробы по трубкам 3 происходит восстановление ее температуры, изменившейся при дросселировании, до значений температуры транспортируемой по газопроводу среды за счет теплообмена между этой средой и материалами, из которых выполнены теплообменный гребень 4 и закрепленные на нем теплообменные импульсные трубки 3. Условием сохранения однофазного состояния отбираемой пробы является превышение ее локальной температуры над температурой точки росы по воде при соответствующих локальном давлении и компонентном составе газа:

$$T_{\text{пр}}(x) > T_{\text{трв}}(P, (x)y), \quad (1)$$

где $T_{\text{пр}}(x)$ — локальная температура пробы в рассматриваемом сечении пробоотборного тракта; $T_{\text{трв}}$ — температура точки росы по воде; $P(x)$ — локальное давление пробы; y — компонентный состав газа. При проектировании УПП указанное условие должно выполняться с заданным температурным запасом $\Delta T_{\text{зап}}$:

$$T_{\text{пр}}(x) \geq T_{\text{трв}}(P, (x)y) + \Delta T_{\text{зап}}. \quad (2)$$

Выполнение данного условия предотвращает конденсацию водяных паров в пробоотборном

Таблица 1. Основные физические характеристики перекачиваемой среды
Table 1. Basic physical features of the pumped medium

Показатель	Значение
Давление рабочее, не более, МПа	12,0
Температура потока газа, °С	– 5 ... + 40
Скорость потока газа, не более, м/с	20,0
Фазовое состояние измеряемой среды	Однофазная газовая среда

Источник / Source: разработано авторами / compiled by the authors

Таблица 2. Основные физические характеристики отбираемой пробы
Table 2. Main physical features of the collected sample

Показатель	Значение
Давление газа перед дросселирующим устройством, не более, МПа	12,0
Рабочее давление пробы после дросселирования, не более, МПа	0,15
Расчетное давление измерительной камеры, МПа	12,0
Температура пробы, °С	– 20 ... + 40
Степень фильтрации	До 5,0 мкм
Номинальный расход пробы, л/ч	3–5
Предельная пропускная способность пробоотборного тракта, л/ч	не менее 50

Источник / Source: разработано авторами / compiled by the authors

тракте и обеспечивает сохранение влажностного содержания пробы перед ее поступлением к чувствительному элементу.

Минимальное значение разности (2) по всей длине пробоотборного тракта принимается количественным критерием пригодности выбранной конструкции УПП. Критерий считается выполненным, если указанная разность остается положительной и не меньше заданного температурного запаса $\Delta T_{\text{зап}}$.

Конструкцией измерительной камеры 8 обеспечивается установка и фиксация измерителя влажности, внутри корпуса которого размещен сорбционно-емкостной сенсор влажности, омываемый поступающей во внутреннюю полость измерительной камеры 8 нормализованной пробой газа. Отработавшая проба газа через трубку 9 сбрасывается в свечную обвязку.

Для защиты дросселей от механических частиц в конструкции УПП предусмотрены специальные пластины, отводящие поток транспортируемого газа вместе с механическими включениями в сторону от точки отбора пробы.

Технические и эксплуатационные требования к основным конструктивным элементам устройства подготовки пробы

В преддверии работ по проектированию конструкции УПП следует сформировать перечень технических и эксплуатационных требований, которым должны соответствовать конструктивные элементы устройства и изделие в целом. Данный перечень следует формировать с учетом условий работы УПП: давление, температура, скорость потока перекачиваемой среды (табл. 1), ее состав, химическая агрессивность (наличие сероводородов, углекислого газа), наличие коррозионно-активных и конденсирующихся компонентов, расход и возможность образования жидкой или твердой фазы [11, 18]. Также следует учесть и нормируемые физические характеристики пробы газа, отбираемой из потока через

УПП и обеспечиваемой его конструкцией: давление пробы, ее температура, степень фильтрации, расчетный расход анализируемого газа при отборе через дроссель с соответствующим диаметром проходного отверстия (табл. 2).

Основным несущим элементом конструкции УПП является монтажная пластина 7, воспринимающая силовое воздействие от закрепленного на ней снизу теплообменного гребня 4, усиленного ребрами жесткости 5 и 6. Силовое воздействие потока на погружную часть УПП определяется выражением:

$$F_d = C_d \rho g^2 \frac{A_{\text{пр}}}{2}, \quad (3)$$

где C_d — коэффициент гидродинамического сопротивления, ρ — расчетная плотность газа, g — скорость потока, $A_{\text{пр}}$ — площадь проекции погружной части на плоскость, перпендикулярную потоку.

При максимальной скорости газа 20 м/с, консервативной площади проекции 0,1365 м², расчетной плотности газа 100 кг/м³ и $C_d = 1,2$ верхняя оценка силы составляет около 3,3 кН, а изгибающего момента относительно монтажной пластины при расчетном плече приложения силы 0,35 м — около 1,15 кН·м. Поэтому прочность монтажной пластины, ребер жесткости и сварных соединений должна проверяться при нагрузках не ниже указанных расчетных значений.

Следовательно, материал для изготовления этих элементов, а также и противообледенительных ребер 2, должен обладать высокой конструктивной прочностью, способностью противостоять коррозионному и химическому воздействию перекачиваемой среды, допускать возможность взаимного соединения деталей сваркой, а также (для монтажной пластины 7) механическую обработку резанием.

Конструкцией монтажной пластины 7 (рис. 2), несущей элементы погружной и наружной частей УПП, обеспечивается установка этого устройства в трубопровод на фланце с номинальным размером

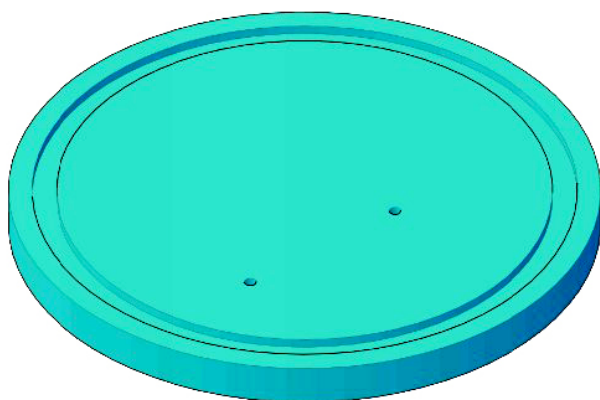


Рис. 2. Концептуальное изображение монтажной пластины устройства подготовки пробы природного газа
Fig. 2. Conceptual illustration of the mounting plate of the natural gas sample preparation device
Источник / Source: разработано авторами / compiled by the authors

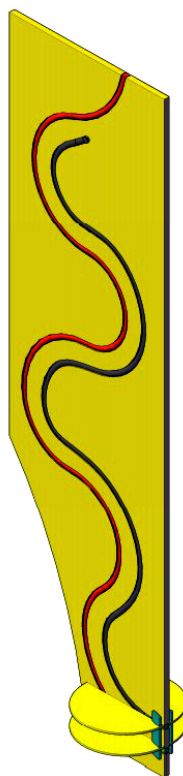


Рис. 3. Концептуальное изображение теплообменного гребня, теплообменных импульсных линий и противообледенительных ребер устройства подготовки пробы
Fig. 3. Conceptual illustration of the heat exchange ridge, heat exchange impulse lines and anti-icing fins of the sample preparation unit

Источник / Source: разработано авторами / compiled by the authors

DN 200. Наружный диаметр монтажной пластины 7 для работы в составе фланцевого соединения типа «шип — паз» с указанным значением номинального размера должен составлять 284 мм. Толщина пластины должна быть достаточной для выполнения пазов под шип фланца при одновременном сохранении механической прочности изделия.

Габаритная высота погружной части УПП определяется вертикальным размером теплообменного гребня 4 (рис. 3) и находится в зависимости от значений номинального размера трубопровода. При этом размеры гребня, а следовательно, и площадь его наружных поверхностей (поверхностей теплообмена в составе термодинамической системы «теплообменный гребень-теплообменные импульсные трубки»), должна быть достаточной для своевременного выравнивания температуры пробы, изменившейся при дросселировании, до значений температуры транспортируемой по газопроводу среды.

Геометрическими размерами противообледенительных ребер 2 (рис. 3) (площадью их поверхностей теплообмена) должно обеспечиваться поступление тепловой энергии в область отбора пробы в количестве, достаточном для поддержания значений температуры контролируемой среды на уровне, превышающем значения температуры точки росы, чем сводится к минимуму возможность обледенения дросселирующих устройств.

Теплообменные импульсные трубки 3 (рис. 3) снаружи омываются потоком транспортируемого по трубопроводу газа, изнутри — потоком отбираемой пробы. Следовательно, материал для их изготовления должен обладать способностью противостоять коррозионному и химическому воздействию перекачиваемой среды, допускать возможность соединения с материалом теплообменного гребня 4 сваркой для создания единой термодинамической системы, а также механическую обработку резанием.

Длина теплообменной импульсной трубки 3 должна обеспечивать как соединение дросселя с измерительной камерой 8, так и восстановление температуры редуцированной пробы. Для реализованного исполнения линии отбора применяется трубка наружным диаметром 6 мм, внутренним диаметром 4 мм и развернутой длиной не менее 1094 мм; предельная длина по техническим условиям составляет 1400 мм. При длине 1094 мм площадь наружной теплообменной поверхности трубки составляет не менее 0,0206 м², а ее внутренний объем — около 13,75 см³. При номинальном расходе пробы 3–5 л/ч расчетное время пребывания газа в трубке составляет приблизительно 9,9–16,5 с. Длина и площадь теплообменной поверхности считаются достаточными при выполнении на выходе трубки условия

$$T_{\text{пр.вых}} \geq T_{\text{трв}} (P_{\text{вых}}', y) + \Delta T_{\text{зап}}'$$

Окончательный выбор длины должен подтверждаться совместным решением уравнений движения и теплового баланса либо экспериментальным изменением температуры пробы на выходе [16, 18, 19].

Дроссель предназначен для снижения давления отбираемого из трубопровода газа за счет его прохождения через отверстие малого диаметра в местном сужении проходного канала и последующей подачи пробы по теплообменным импульсным трубкам 3 в измерительную камеру 8. Расход пробы газа, проходящей через дроссель, должен составлять 3–5 л/час, перепад давления — от 12 до 0,15 МПа, диаметр проходного отверстия $d_0 = 0,1–0,5$ мм с учетом давления газа в точке отбора, давления на выходе пробоотборной линии и требуемого расхода анализируемой пробы.

Особенностью работы дросселя является возможность реализации критического режима истечения газа. При достаточно большом отношении давлений до и после дросселя в его минимальном

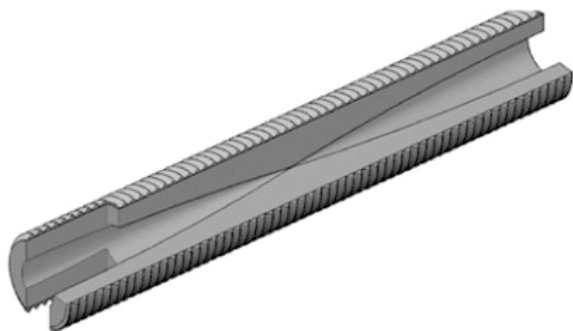


Рис. 4. Концептуальное изображение дросселя устройства подготовки пробы природного газа
Fig. 4. Conceptual illustration of a natural gas sample preparation device choke

Источник / Source: разработано авторами / compiled by the authors

проходном сечении может устанавливаться критический режим истечения, соответствующий достижению числом Маха значения, близкого к единице. В таком режиме массовый расход определяется преимущественно параметрами газа перед дросселем, его теплофизическими свойствами, эффективной площадью проходного сечения и коэффициентом расхода [20].

Требования к материалу для изготовления дросселя аналогичны требованиям, предъявляемым к другим элементам погружной части УПП: материал должен обладать способностью противостоять коррозионному и химическому воздействию перекачиваемой среды, допускать механическую обработку резанием.

Конструктивно дроссель может быть выполнен в соответствии с описанием, изложенным в охранном документе¹³ (рис. 4). В рассматриваемом исполнении УПП давление в точке отбора может составлять до 12 МПа, а давление в точке соединения с открытой сбросной линией — не более 0,15 МПа; следовательно, расчетный перепад давления на дросселирующем устройстве может достигать порядка 11,85 МПа. При расчетном режиме $P_y = 8$ МПа дроссель с диаметром проходного отверстия $d_0 = 0,1$ мм обеспечивает расход анализируемого газа около 3,5 л/ч.

Материал корпуса измерительной камеры 8 должен обладать способностью противостоять коррозионному и химическому воздействию перекачиваемой среды, коррозионному воздействию атмосферной влаги, допускать возможность соединения с материалом монтажной пластины 7 и теплообменных импульсных трубок 3 сваркой, а также механическую обработку резанием.

Диаметр внутренней полости измерительной камеры следует выбирать с учетом наружного диаметра защитного пенала чувствительного элемента, присоединительных размеров корпуса преобразователя влажности и обеспечения возможности свободного омыwania сенсора потоком подготовленной пробы газа.

Глубина внутренней полости измерительной камеры должна определяться высотой чувствительно-

го элемента с защитным пеналом и размерами присоединительного узла преобразователя влажности.

Внутренний объем измерительной камеры должен быть минимально необходимым для размещения чувствительного элемента и свободного омыwania его поверхности, что позволяет уменьшить время обновления пробы и инерционность измерительной системы [11].

Не допускается контакт защитного пенала с запорной арматурой.

Толщина стенки измерительной камеры должна обеспечивать ее конструктивную прочность при расчетном давлении 12 МПа. Указанное значение принимается равным максимальному давлению газа перед дросселирующим устройством с учетом возможности аварийного воздействия полного давления газопровода при повреждении, разрушении или потере герметичности дросселирующего элемента. В штатном режиме рабочее давление пробы после дросселирования и в измерительной камере не должно превышать 0,15 МПа (табл. 2).

Требования к теплофизическим характеристикам материалов конструктивных элементов устройства подготовки пробы

При формировании требований к материалам конструктивных элементов устройства подготовки пробы необходимо учитывать не только их прочностные и противокоррозионные характеристики, но и теплофизические свойства, определяющие способность конструкции эффективно восстанавливать температуру пробы газа, изменившуюся при дросселировании. К таким свойствам относятся: коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость, плотность и коэффициент линейного температурного расширения. Практика разработки, создания и эксплуатации таких устройств свидетельствует о целесообразности использования для изготовления конструктивных элементов погружной части УПП некоторых марок коррозионностойких сталей со следующими теплофизическими характеристиками:

- плотность $\rho = 7920 - 8000$ кг/м³;
- коэффициент теплопроводности $\lambda \approx 15 - 16$ Вт/(м·К);
- удельная теплоемкость $c \approx 500 - 725$ Дж/(кг·К);
- коэффициент линейного расширения (при 100 °С) $\alpha_t \approx 16,6 \cdot 10^{-6}$ 1/К.

Указанные параметры должны учитываться при обосновании площади теплообменной поверхности гребня, длины термостабилизирующих трубок и геометрической формы и размеров противообледенительных ребер, поскольку именно они определяют интенсивность подвода теплоты к зоне дросселирования и восстановления температуры редуцированной пробы перед измерением температуры точки росы природного газа по воде измерителями влажности.

Для изготовления погружной части УПП целесообразно применять коррозионностойкие стали, выбор конкретной марки которых должен выполняться с учетом механической прочности, свариваемости, коррозионной стойкости, коэффициента теплопроводности, теплоемкости, плотности

¹³ Пат. 191315 U1 Российская Федерация, МПК В 05 В 1/00. Сверхзвуковой редуцирующий дроссель / Копчиков А. Е., Михин С. О., Киборт И. Д. № 2018142156; заявл. 29.11.2018; опубл. 01.08.2019. EDN: HEKXJC.

и коэффициента линейного температурного расширения.

Для утепления наружной части УПП при его эксплуатации в условиях низких температур следует предусмотреть возможность использования противообледенительного кожуха, выполненного из термоизоляционного материала.

Заключение

Сказанное выше свидетельствует о том, что при проектировании и создании УПП в качестве обязательных требований к материалам теплообменных и проточных элементов погружной части и измерительной камеры устройства следует принимать коррозионную и химическую стойкость в среде природного газа, механическую прочность, технологические свойства (свариваемость, возможность механической обработки резанием), а также теплофизические характеристики — коэффициент теплопроводности, теплоемкость, плотность материала и коэффициент его линейного температурного расширения. Геометрические размеры и форма этих конструктивных элементов должны быть тщательно обоснованы.

Соблюдение указанных технических и эксплуатационных требований обеспечивает долговечность, сохраняемость, безотказность УПП и его продолжительный рабочий ресурс. Выполнение сформированных требований направлено на уменьшение изменений температуры, давления, состава и фазового состояния пробы при ее отборе и транспортировании и тем самым снижает риск возникновения дополнительного методического смещения результата измерения TTP_B [4, 7, 8, 11].

Список источников / References

1. Изотов Н. И. Требования к качеству СПГ за рубежом // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). С. 20–35. EDN: SNAXEV.

Izotov N. I. Trebovaniya k kachestvu SPG za rubezhom. *Transport na Alternativnom Toplivo*. 2014;5(41):20–35. EDN: SNAXEV. (In Russ.).

2. Макинский А. А., Донских Б. Д., Максимова Т. В. [и др.]. Сорбционные методы для определения содержания водяных паров в природном газе: состояние дел и перспективы развития // Газовая промышленность. 2023. № S4 (857). С. 110–120. EDN: QWTIOG.

Makinsky A. A., Donskikh B. D., Maximova T. V. [et al.]. Sorption methods for water vapor content determination in natural gas. Current situation and development prospects. *Gazovaya promyshlennost'*. 2023;S4(857):110–120. EDN: QWTIOG. (In Russ.).

3. Qorşkov A. V., Valiyev R. Q. Təbii qazın axındakı rütubətinin ölçülməsinin müasir üsulları və vasitələri // Azərbaycan neft təsərrüfatı. 2023. № 11. S. 31–38. <https://doi.org/10.37474/0365-8554/2023-11-31-38>. EDN: WGIQYF.

Gorshkov A. V., Valiyev R. K. Modern methods and means for online measurement of moisture content in natural gas. *Azerbaijan Oil Industry*. 2023;11:31–38. <https://doi.org/10.37474/0365-8554/2023-11-31-38>. EDN: WGIQYF. (In Azer.).

4. Паранук А. А., Дунаев В. И., Приходько М. Г. Об одной методике определения влагосодержания природного газа в трубопроводных системах // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2024. Т. 10, № 3 (39). С. 24–36. <https://doi.org/10.21684/2411-7978-2024-10-3-24-36>. EDN: LLJWPD.

Paranuk A. A., Dunaev V. I., Prihodko M. G. A method for determining the moisture content of natural gas in

pipeline systems. *Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy*. 2024;10(3):24–36. <https://doi.org/10.21684/2411-7978-2024-10-3-24-36>. EDN: LLJWPD. (In Russ.).

5. Хаджийская Е. Ю. Разработка электронных блоков анализатора влажности природного газа // Вестник НовГУ. 2023. № 1 (130). С. 146–157. [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2023.1\(130\).146-157](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2023.1(130).146-157). EDN: NXBCJQ.

Khadzhiyskaya E. Yu. Development of electronic units of the natural gas humidity analyzer. *Vestnik NovSU*. 2023;1(130):146–157. [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2023.1\(130\).146-157](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2023.1(130).146-157). EDN: NXBCJQ. (In Russ.).

6. Хаджийская Е. Ю., Покровская М. В. Разработка метода анализа данных в TDLAS-газоанализаторе // Вестник НовГУ. 2025. № 3 (141). С. 455–467. [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2025.3\(141\).455-467](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2025.3(141).455-467). EDN: CLGMTF.

Khadzhiyskaya E. Yu., Pokrovskaya M. V. Development of a data analysis method in a TDLAS gas analyzer. *Vestnik NovSU*. 2025;3(141):455–467. [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2025.3\(141\).455-467](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2025.3(141).455-467). EDN: CLGMTF. (In Russ.).

7. Takeda N., Carroll P., Tsukahara Y. [et al.]. Trace moisture measurement in natural gas mixtures with a single calibration for nitrogen background gas. *Measurement Science and Technology*. 2020;31(10):104007. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/ab94ff>. EDN: DZDGBR.

8. Михин С. О. Разработка сорбционно-емкостного прибора контроля влагосостояния природного газа: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2025. 205 с.

Mikhin S. O. Razrabotka sorbtionno-emkostnogo pribora kontrolya vlagosostoyaniya prirodnogo gaza. Krasnoyarsk, 2025. 205 p. (In Russ.).

9. Михин С. О., Егоров Д. Н., Кошкур О. Н., Романов А. Е. Топология изготовления сорбционно-емкостного сенсора влажности на основе тонких пленок, полученных микродуговым оксидированием и магнетронным напылением // Контроль. Диагностика. 2023. Т. 26, № 10. С. 38–48. <https://doi.org/10.14489/td.2023.10.pp.038-048>. EDN: PMVZFS.

Mikhin S. O., Egorov D. N., Koshkur O. N., Romanov A. E. Topology of manufacturing a sorption-capacitive humidity sensor based on thin films obtained by microarc oxidation and magnetron sputtering. *Kontrol'. Diagnostika*. 2023;26(10):38–48. <https://doi.org/10.14489/td.2023.10.pp.038-048>. EDN: PMVZFS. (In Russ.).

10. Михин С. О., Ганжа В. А., Кошкур О. Н., Романов А. Е. Тонкопленочный сорбционно-емкостной сенсор контроля влагосостояния газовых сред // Контроль. Диагностика. 2025. Т. 28, № 9. С. 56–62. <https://doi.org/10.14489/td.2025.09.pp.056-062>. EDN: LUJOHT.

Mikhin S. O., Ganzha V. A., Koshkur O. N., Romanov A. E. Thin-film sorption-capacitive sensor for monitoring the moisture content of gaseous media. *Kontrol'. Diagnostika*. 2025;28(9):56–62. <https://doi.org/10.14489/td.2025.09.pp.056-062>. EDN: LUJOHT. (In Russ.).

11. Arrhenius K., Francini L., Beker O. Sampling methods for renewable gases and related gases: challenges and current limitations. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2022;414(21):6285–6294. <https://doi.org/10.1007/s00216-022-03949-0>.

12. Ильющенко А. Ф., Кусин Р. А., Черняк И. Н. [и др.]. Выбор метода изготовления пористых порошковых изделий фильтрующего назначения // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2021. № 10 (739). С. 24–34. <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2021-10-24-34>. EDN: OCMVDU.

Ilyushchanka A. Ph., Kusin R. A., Charniak I. M. [et al.]. Selecting a method for the manufacture of porous powder filter products. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*. 2021;10(739):24–34. <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2021-10-24-34>. EDN: OCMVDU. (In Russ.).

13. Квон В. Г., Истомин В. А., Крапивин В. Б. [и др.]. Особенности отложения и накопления гидратов в скважинах Чаяндинского нефтегазоконденсатного месторож-

дения // Вести газовой науки. 2023. № 2 (54). С. 148–155. EDN: SOFBNY.

Kvon V. G., Istomin V. A., Krapivin V. B. [et al.]. Features of hydrates deposition and accumulation in wellbores of Chayandinskoye oil and gas condensate field. *Vesti Gazovoy Nauki*. 2023;2(54):148–155. EDN: SOFBNY. (In Russ.).

14. Истомин В. А., Федулов Д. М., Сергеева Д. В. [и др.]. Гидратообразование при добыче газа на Чаиндинском нефтегазоконденсатном месторождении. Часть 1. Призабойная зона пласта // Газовая промышленность. 2022. № 2 (828). С. 46–53. EDN: VYXAXD.

Istomin V. A., Fedulov D. M., Sergeeva D. V. [et al.]. Hydrate formation in gas production at Chayandinskoye oil, gas and condensate field. Part 1. Bottom hole formation zone. *Gazovaya Promyshlennost'*. 2022;2(828):46–53. EDN: VYXAXD. (In Russ.).

15. Истомин В. А., Крапивин В. Б., Тройникова А. А. [и др.]. Гидратообразование при добыче газа на Чаиндинском нефтегазоконденсатном месторождении. Часть 2. Газоконденсатные скважины // Газовая промышленность. 2022. № 3 (830). С. 42–48. EDN: DGYFOK.

Istomin V. A., Krapivin V. B., Troynikova A. A. [et al.]. Hydrate formation in gas production at Chayandinskoye oil, gas and condensate field. Part 2. Gas condensate wells. *Gazovaya Promyshlennost'*. 2022;3(830):42–48. EDN: DGYFOK. (In Russ.).

16. Паранук А. А., Буныкин А. В., Шиян С. И. Разработка математической модели расчета образования гидратов в трубопроводе с учетом изменения температуры // Нефтегазовое дело. 2021. Т. 19, № 4. С. 107–114. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2021-4-107-114>. EDN: KOJSPZ.

Paranuk A. A., Bunyakin A. V., Shiyen S. I. Development of a mathematical model for calculating hydrate formation in a pipeline taking into account temperature change. *Petroleum Engineering*. 2021;19(4):107–114. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2021-4-107-114>. EDN: KOJSPZ. (In Russ.).

17. Салихов Р. М., Чертовских Е. О., Гильмутдинов Б. Р. [и др.]. Повышение эффективности мероприятий по предупреждению гидратообразования на Ярактинском нефтегазоконденсатном месторождении // Нефтяное хозяйство. 2020. № 9. С. 50–54. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2020-9-50-54>. EDN: NTTXOA.

Salikhov R. M., Chertovskih E. O., Gilmutdinov B. R. [et al.]. Improving the efficiency of measures to prevent hydrate formation at the Yarakinskoye oil-gas-condensate field. *Neftyanoye Khozyaystvo*. 2020;9:50–54. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2020-9-50-54>. EDN: NTTXOA. (In Russ.).

18. Истомин В. А., Измченко Д. В., Сергеева Д. В. [и др.]. Анализ термобарических режимов работы эксплуатационных скважин Чаиндинского НГКМ // Наука и техника в газовой промышленности. 2022. Т. 90, № 2. С. 39–48. EDN: WPRZDV.

Istomin V. A., Izmchenko D. V., Sergeyeva D. V. [et al.]. Analiz termobaricheskikh rezhimov raboty ekspluatatsionnykh skvazhin Chayandinskogo NGKM. *Science & Technology in the Gas Industry*. 2022;90(2):39–48. EDN: WPRZDV. (In Russ.).

19. Паранук А. А., Дунаев В. И. Математическое моделирование тепловых потерь для промысловых систем сбора природного газа // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2025. Т. 11, № 3 (43). С. 6–17. <https://doi.org/10.21684/2411-7978-2025-11-3-6-17>. EDN: VOJGRY.

Paranuk A. A., Dunaev V. I. Mathematical modeling of heat losses for field natural gas gathering systems. *Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy*. 2025;11(3):6–17. <https://doi.org/10.21684/2411-7978-2025-11-3-6-17>. EDN: VOJGRY. (In Russ.).

20. Gimon T. A., Zvegintsev V. I., Fedorova N. N. Study of the transient gas outflow from a container. *Thermophysics and Aeromechanics*. 2023;30:857–863. <https://doi.org/10.1134/S0869864323050050>.

Вклад авторов:

С. О. Михин. Постановка цели и задач исследования, анализ современного состояния вопроса, проведение анализа известных систем отбора, фильтрации и кондиционирования проб природного газа, оценка преимуществ и недостатков известных технических решений в данной области, формирование первичного перечня технических и эксплуатационных требований к устройствам подготовки пробы природного газа, формулирование выводов.

В. А. Ганжа. Проведение обзора литературно-патентных источников в рамках анализа современного состояния вопроса, конкретизация цели и задач работы, корректировка перечня технических и эксплуатационных требований к устройствам подготовки пробы природного газа, требований к теплофизическим характеристикам материалов конструктивных элементов устройства подготовки пробы, формулирование выводов, подготовка текста статьи.

О. Н. Кошкур. Корректировка технических и эксплуатационных требований к устройствам подготовки пробы природного газа, требований к теплофизическим характеристикам материалов конструктивных элементов устройства подготовки пробы с учетом конструкторско-технологических аспектов, формулирование выводов.

Authors' contribution:

Sergey O. Mikhin. Setting research goal and objectives, analysing the current state and existing systems for collecting, filtering and conditioning natural gas samples, assessing the advantages and disadvantages of existing technical solutions, developing a preliminary list of technical and operational requirements for natural gas sample preparation devices, formulating conclusions.

Vladimir A. Ganzha. Conducting a review of literature and patent sources as part of an analysis of the current state of the issue, specifying the goal and objectives of the work, adjusting the list of technical and operational requirements for natural gas sample preparation devices, requirements for the thermophysical features of the materials of the sample preparation device structural elements, formulating conclusions, preparing the text of the article.

Oleg N. Koshkur. Adjustment of technical and operational requirements for natural gas sample preparation devices, requirements for the thermophysical features of materials for sample preparation device structural elements considering design and technological aspects, formulation of conclusions.

Информация об авторах:

МИХИН Сергей Олегович, кандидат технических наук, заместитель начальника участка контрольно-измерительных приборов и автоматики Сахалинского линейного производственного управления магистральных трубопроводов ООО «Газпром трансгаз Томск», г. Южно-Сахалинск; докторант Сибирского федерального университета, г. Красноярск.

SPIN-код: 7190-5289

AuthorID (РИНЦ): 1288359

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6518-277X>

e-mail: serega_11rus@mail.ru

ГАНЖА Владимир Александрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Топливообеспечение и горюче-смазочные материалы»

Сибирского федерального университета, г. Красноярск.

SPIN-код: 8438-4763

AuthorID (РИНЦ): 655237

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0647-8502>

e-mail: vladimirganzha@yandex.ru

КОШКУР Олег Николаевич, генеральный директор ООО «Завод высоковольтных электронных компонентов «Прогресс», г. Ухта.

AuthorID (РИНЦ): 506193

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6583-5043>

e-mail: zvekpost@mail.ru

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

При подготовке данной рукописи авторы не использовали генеративный искусственный интеллект или аналогичные автоматизированные инструменты.

Статья поступила в редакцию 24.07.2026; одобрена после рецензирования 11.09.2026; принята к публикации 16.09.2026.

Information about the authors:

MIKHIN Sergey Olegovich, Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of the Instrumentation and Automation Section, Sakhalin Linear Production Department of Main Pipelines, LLC "Gazprom Transgaz

Tomsk", Yuzhno-Sakhalinsk; Doctoral Student, Siberian Federal University, Krasnoyarsk.

SPIN-code: 7190-5289

AuthorID (RSCI): 1288359

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6518-277X>

e-mail: serega_11rus@mail.ru

GANZHA Vladimir Aleksandrovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Fuel Supply and Lubricants Department, Siberian Federal University, Krasnoyarsk.

SPIN-code: 8438-4763

AuthorID (RSCI): 655237

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0647-8502>

e-mail: vladimirganzha@yandex.ru

KOSHKUR Oleg Nikolaevich, General Director, High-Voltage Electronic Components Plant "Progress", Ukhta.

AuthorID (RSCI): 506193

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6583-5043>

e-mail: zvekpost@mail.ru

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

The authors have read and approved the final manuscript.

The authors did not use the Artificial Intelligence or similar automated tools in the article.

The article was submitted 24.07.2026; approved after reviewing 11.09.2026; accepted for publication 16.09.2026.