

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

**ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОПЛИВА
И ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ
CHEMICAL TECHNOLOGY OF FUEL
AND HIGH-ENERGY SUBSTANCES**

Научная статья

УДК 669.017:620.197

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-5-74-82

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТЕХНОЛОГИЮ ПРОЦЕССА ГЛУБОКОЙ
АДСОРБЦИОННОЙ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА**

**Гафарова Элиза Багаутдиновна, Свиридов Дмитрий Владимирович,
Мельников Вячеслав Борисович, Макарова Наталья Петровна**

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

* для корреспонденции: gafarovaeliza@mail.ru

**Информация о статье**

Поступила:

17 февраля 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

22 сентября 2025 г.

Принята к публикации:

30 сентября 2025 г.

Опубликована:

23 октября 2025 г.

Ключевые слова:

сжиженный природный газ,
адсорбционная осушка,
цеолиты, динамическая
активность, влагосодержание
газа

Аннотация.

Исследование влияния температуры природного газа на процесс адсорбционной осушки имеет важное значение, так как температурные условия существенно влияют на эффективность использования адсорбентов и длительность цикла их работы. Понимание этих факторов позволяет оптимизировать режимы работы оборудования, что может привести к значительному увеличению экономической выгоды за счет сокращения частоты замен и регенерации сорбентов.

В статье рассмотрено влияние температуры природного газа на процесс глубокой адсорбционной осушки в условиях эксплуатации газоперерабатывающих установок. Проанализированы результаты технологических исследований, демонстрирующие изменение продолжительности стадии адсорбции и других параметров технологического процесса в зависимости от начального влагосодержания газа. Представлены данные о влиянии характеристик промышленного цеолита NaA на эффективность процесса осушки. Продемонстрировано, что проведение процесса адсорбции при пониженных температурах сопровождается значительным увеличением динамической емкости адсорбентов. Это обуславливает существенное сокращение продолжительности стадии адсорбции, позволяя обрабатывать больший объем природного газа без необходимости частой замены или регенерации сорбента. Такое улучшение характеристик процесса не только снижает эксплуатационные расходы, но и заметно повышает его технологическую и экономическую эффективность. Полученные результаты могут быть использованы для разработки рекомендаций по оптимизации циклограмм работы адсорберов в зависимости от начальных условий эксплуатации.

Для цитирования: Гафарова Э.Б., Свиридов Д.В., Мельников В.Б., Макарова Н.П. Влияние температуры на технологию процесса глубокой адсорбционной осушки природного газа // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 5 (171). С. 74-82. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-5-74-82, EDN: LTPFNB

Введение. Осушка газа требуется для установках сжижения газа, что может привести к предотвращению гидратообразования на уменьшению пропускной способности

оборудования, трубопроводов и запорной арматуры, а также вызывает проблемы в работе низкотемпературных установок. О появлении гидратной пробки часто свидетельствует рост перепада давления на оборудовании или трубопроводе. Для ликвидации гидратной пробки приходится останавливать низкотемпературный технологический блок или всю установку для расхолаживания с продувкой блока горячим газом, что приводит к недополучению продукции и коммерческим потерям [1-4].

Сырьевой газ, поступающий на комплекс сжижения с месторождения или из магистрального газопровода, содержит в составе легкие углеводороды, влагу, кислые газы и другие компоненты. Для предотвращения эксплуатационных проблем в блоке сжижения (образование льда и газогидратов, коррозия оборудования) концентрация этих веществ на входе в блок сжижения должна быть снижена до следующих значений:

- Концентрация по влаге – не более 1 ppmv (1 мл/1м³);
- Точка росы по влаге при температуре

0°C и давлении 101,32 кПа не более минус 70°C;

- Концентрация по углекислому газу – не более 50ppmv (50 мл/м³);
- Концентрация по сероводороду – не более 4ppmv (4 мл/м³);
- Содержание ртути – не более 10⁻⁶ мг/м³ ($\approx 10^{-7}$ мл/1м³);
- Содержание серы – не более 30 мг/м³ (22,5 мл/1м³);
- Высококипящие углеводороды (C₅₊ и более) должны отсутствовать.

Из опыта следует, что достижение такой степени осушки газа при приемлемых технико-экономических показателях возможно только с использованием адсорбционного метода осушки природного газа на цеолитах [1-8].

Температура природного газа играет ключевую роль в технологии глубокой адсорбционной осушки, так как она непосредственно влияет на эффективность и экономику процесса. Динамическая емкость адсорбентов прямо зависит от температуры адсорбции [9]. От температуры исходного газа довольно сильно зависит влагосодержание, а также содержание других компонентов [10]. Так,

Таблица 1. Физико-химические и адсорбционные характеристики цеолита NaA

Table 1. Physicochemical and adsorption characteristics of zeolite NaA

Динамическая емкость по парам воды, %масс.				Диаметр черенка, мм	Насыпная плотность, г/см ³
5°C	25°C	35°C	50°C	2,8	0,75
23,11	21,59	20,17	19,23		

Таблица 2. Технологические параметры адсорбционного процесса осушки газа

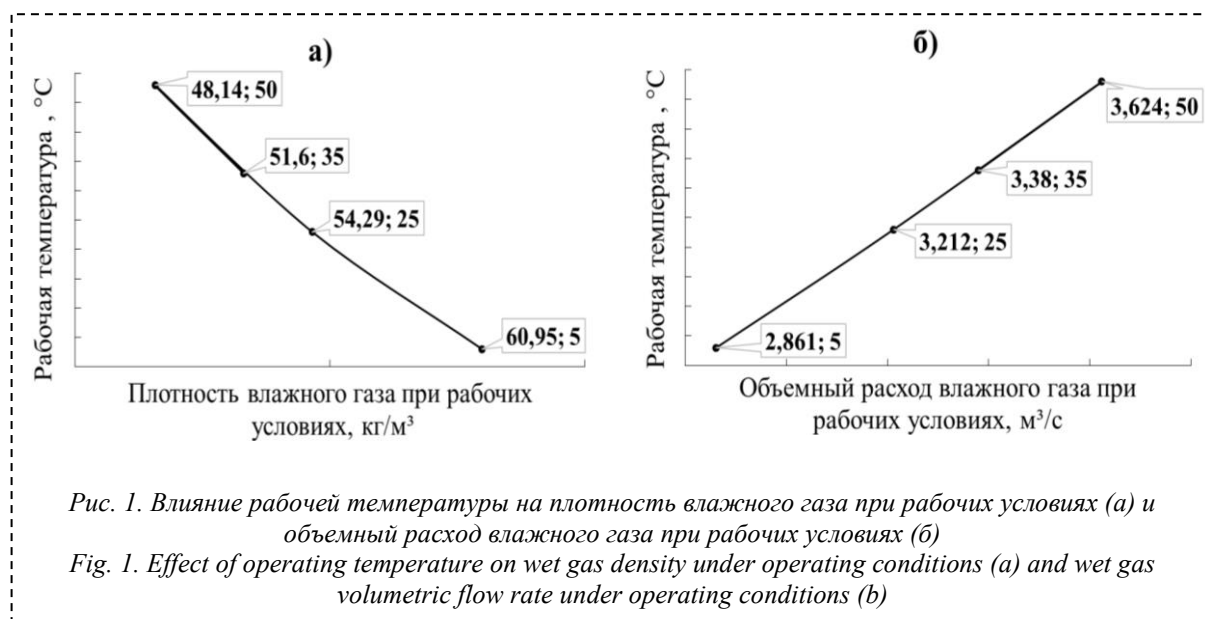
Table 2. Technological parameters of the adsorption process of gas drying

Параметры	Значение
Объем адсорбента в одном аппарате, м ³	34,0
Высота слоя адсорбента, м	3,3
Внутренний диаметр адсорбера, м	3,6
Высота цилиндрической части адсорбера, м	6,5
Требуемая на осушку масса адсорбента, т	51,0

Таблица 3. Основные параметры процесса

Table 3. Main process parameters

Параметры	Рабочая температура при различном влагосодержании природного газа, °C			
	5	25	35	50
Массовый расход влажного газа при нормальных условиях, поступающего на осушку, кг/ч	627835	627865	627895	627977
Объемный расход влажного газа при нормальных условиях, поступающего на осушку, м ³ /ч	865773			
Рабочее давление, МПа	7,2			
Плотность влажного газа при нормальных условиях, кг/м ³	0,725173	0,725207	0,725242	0,725337
Состав сухого газа, (% масс.): метанол – 0,0012; азот – 2,2476; диоксид углерода – 0,0406; метан – 97,6477; этан – 0,0310; пропан – 0,0011; и-бутан – 0,0118; н-бутан – 0,0095; н-пентан – 0,0042; н-гексан – 0,0004; гелий – 0,0049.				



в качестве примера можно рассмотреть подготовку природного газа сеноманских залежей месторождения Медвежье, где снижение температуры с 30 до 12°C при давлении 8,0 МПа привело к увеличению динамической емкости силикагелей на 18-20% и одновременно к уменьшению влагосодержания с 0,582 до 0,210 г/м³, т. е. на 63,9%. В итоге это приводит к возможности вести процесс адсорбции дольше, что существенно влияет на экономику процесса, т. е. увеличивается количество обрабатываемого газа за цикл, уменьшается удельный вес регенерации. При пониженных температурах адсорбции происходит заметное снижение температуры точки росы осушенного газа. Вследствие увеличения длительности циклов адсорбции происходит значительное уменьшение количества циклов во времени, что прямо пропорционально влияет на сохранность адсорбента как по емкости, так и по

гранулометрии [11]. В данном случае для обеспечения стабильной и эффективной работы установки адсорбционной осушки газа без изменения конструкции адсорберов требуется корректировка технологических режимов работы адсорберов (циклограммы).

В представленной статье анализируется влияние температуры на технологию процесса глубокой адсорбционной осушки природного газа. Результаты исследований помогут сформулировать рекомендации по оптимизации циклограмм работы адсорберов в зависимости от температуры проведения процесса.

Объекты и методики проведения исследований

В качестве отечественного адсорбента, который используется в промышленности в осушке природного газа, в работе был исследован гранулированный цеолит NaA, характеристики которого представлены в

Таблица 4. Состав газа, поступающего на установку осушки при различном давлении
Table 4. Composition of gas entering the drying unit at different pressures

Компонент	Рабочая температура при различном влагосодержании природного газа, °C			
	5	25	35	50
Концентрация, % масс.				
Вода	0,0187	0,0649	0,1130	0,2417
Метанол	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012
Азот	2,2471	2,2461	2,2450	2,2421
Диоксид углерода	0,0406	0,0406	0,0406	0,0405
Метан	97,6294	97,5843	97,5373	97,4116
Этан	0,0310	0,0310	0,0310	0,0309
Пропан	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011
и-Бутан	0,0118	0,0118	0,0118	0,0118
н-Бутан	0,0095	0,0095	0,0095	0,0095
н-Пентан	0,0042	0,0042	0,0042	0,0042
н-Гексан	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Гелий	0,0049	0,0049	0,0049	0,0049

Таблице 1 [5, 9].

Динамическую емкость адсорбентов определяли по количеству поглощенной влаги, отнесенной к количеству адсорбента (% масс.). Исследования испытуемого образца цеолита по парам воды проводили в адсорбере при следующих условиях: объемная скорость подачи воздуха 2000 ч⁻¹; атмосферное давление; температура 5 – 50°C; загрузка адсорбента ≈ 50 см³. Подробная методика данных экспериментальных исследований изложена авторами в работе [9].

Стоит отметить, что при увеличении температуры с 5 до 50°C динамическая емкость цеолита NaA уменьшается ~ на 16,8%, что оказывает влияние на продолжительность стадии адсорбции [12-14].

Трехадсорберная технологическая схема, по которой осуществлялся анализ процесса адсорбционной осушки газа, а также методика расчета была представлена авторами в работе [15].

В рамках рассматриваемых технологических исследований влияния рабочей температуры на процесс глубокой осушки до постоянной величины содержания влаги конструктивные параметры адсорберов, а также технологические параметры процесса, указанные в Таблице 2, оставались неизменными. Это обусловлено необходимостью адаптации существующего аппаратного оформления к изменяющимся условиям влажности газа вследствие изменения температуры без внесения конструктивных изменений. Основным технологическим параметром оптимизации процесса стало изменение продолжительности стадии адсорбции проведения осушки.

Расчет технологических параметров адсорбционного процесса осушки газа при исследовании проводился с использованием программного комплекса для технологического моделирования Unisim Design. В качестве постоянных величин процесса были приняты следующие параметры: объемный расход влажного газа при нормальных условиях, поступающего на осушку; состав сухого газа; рабочее давление. Расчетными величинами при исследовании адсорбционного процесса являлись следующие параметры: влагосодержание газа; массовый расход

влажного газа, поступающего на осушку; плотность влажного газа при нормальных условиях.

Основным переменным параметром при исследовании адсорбционного процесса являлась температура, с которой влажный газ поступает на осушку. Определение расчетных величин осуществлялось исходя из условия, что газ поступает на осушку в насыщенном влагой (равновесном) состоянии при заданных термобарических параметрах, что достигалось путем насыщения сухого газа влагой до достижения относительной влажности 100%.

Основные параметры рассматриваемого процесса адсорбционной осушки газа представлены в Таблице 3 и на Рис. 1. В Таблице 4 приведен компонентный состав газа, поступающего на установку осушки.

Результаты исследований и обсуждение

Одним из параметров, значительно влияющих на процесс осушки газа, является линейная скорость газа в адсорберах. При неизменной конструкции адсорбера линейную скорость и максимально допустимую скорость при рабочих условиях определяли следующим образом. Линейную скорость газа при рабочих условиях процесса определяли по известному выражению [16]:

$$v_{\text{раб}} = \frac{V}{0,785 \cdot D^2} \quad (1)$$

где $v_{\text{раб}}$ – линейная скорость паров в аппарате, м/с; V – объемный расход влажного газа при рабочих условиях, м³/с; D – внутренний диаметр адсорбера, м.

Значения линейной скорости потока газа при рабочих условиях проведения адсорбционного процесса, рассчитанные по выражению (1), равны:

$v_{\text{раб}}(5^\circ\text{C}) = 0,28$ м/с; $v_{\text{раб}}(25^\circ\text{C}) = 0,31$ м/с; $v_{\text{раб}}(35^\circ\text{C}) = 0,32$ м/с; $v_{\text{раб}}(50^\circ\text{C}) = 0,35$ м/с.

Максимально допустимую линейную скорость рекомендуется определять при рабочих условиях процесса по следующей зависимости [11]:

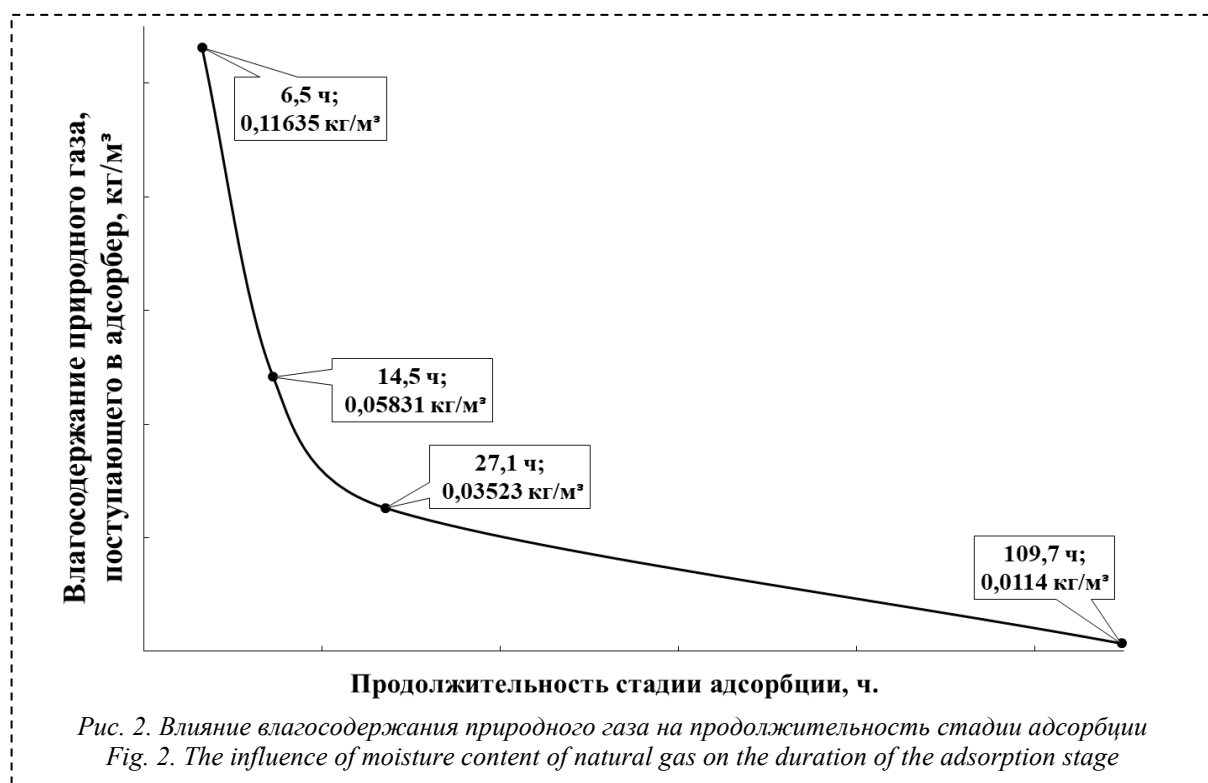
$$v_{\text{max}} = \sqrt{78 \cdot C \cdot \rho_{\text{ад}} \cdot d_{\text{ад}} \cdot \frac{g}{\rho_{\text{г.у.}}}} \quad (2)$$

где v_{max} – максимально допустимая линейная скорость газа, м/с; C – константа ($C = 0,025 - 0,033$); $\rho_{\text{ад}}$ – средняя плотность адсорбента,

Таблица 5. Характеристики процесса осушки природного газа

Table 5. Characteristics of the natural gas drying process

Параметр	Значение			
Рабочая температура природного газа, °C	5	25	35	50
Влагосодержание природного газа, поступающего в адсорбер на осушку, $W_{\text{вх}}$, кг/м ³	0,01140	0,03523	0,05831	0,11635
Количество влаги, которое необходимо удалить из газа в процессе осушки, ΔW , кг/м ³	0,01134	0,03518	0,05826	0,11631
Количество воды, извлекаемое из потока газа за час, $M_{\text{в}}$, кг/ч	116,8	406,9	708,9	1517,2



кг/м³; $d_{ад}$ – средний диаметр гранул адсорбента, м; $\rho_{р.у.}$ – плотность влажного газа при рабочих условиях, кг/м³; g – ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$).

Значения максимально допустимых линейных скоростей, рассчитанные по выражению (2) при различных температурах проведения процесса, равны:

$v_{max}(5^\circ\text{C}) = 0,89 \text{ м/с}$; $v_{max}(25^\circ\text{C}) = 0,94 \text{ м/с}$;
 $v_{max}(35^\circ\text{C}) = 0,97 \text{ м/с}$; $v_{max}(50^\circ\text{C}) = 1,00 \text{ м/с}$.

Из найденных величин $v_{раб}$ и v_{max} при всех рабочих условиях выполняется необходимое значение $v_{раб} < v_{max}$ и, следовательно, заданный внутренний диаметр адсорбера можно адаптировать под изменяющуюся температуру процесса.

Далее для выбора оптимального технологического режима адсорбционной осушки газа требуется определить количество влаги, которое необходимо удалить из газа в процессе осушки:

$$\Delta W = W_{вх} - W_{вых} \quad (3)$$

где $W_{вх}$ – влагосодержание природного газа, поступающего в адсорбер на осушку, которое рассчитывается исходя из условия насыщенности газа влагой при указанных термобарических условиях и составе газа;

$W_{вых}$ – влагосодержание газа, выходящего из адсорбера, которое определяется требованиями нормативных документов (ГОСТ, ОСТ, ТУ и т. п.) на качество природного газа, поступающего в последующие технологические процессы или потребителям. Например, требование по содержанию влаги к природному газу,

поступающему на сжижение, составляет не более 1 ppmv, т. е. концентрация влаги в потоке осушенного газа на выходе с установки осушки должна составлять не более 0,0001 % масс.

Количество воды, извлекаемое из потока газа за час:

$$M_v = Q_r \cdot \Delta W / \rho_{р.у.} \quad (4)$$

где Q_r – массовый расход влажного газа, поступающего на осушку, при нормальных условиях, кг/ч, $\rho_{р.у.}$ – плотность влажного газа при рабочих условиях, кг/м³.

Расчетные значения вышеизложенных параметров приведены в Таблице 5.

Стоит отметить, что при увеличении температуры с 5 до 50°C количество влаги, извлекаемой из потока газа за час, увеличивается ~ в 13 раз (с 116,8 до 1517,2 кг/ч), при этом плотность влажного газа при рабочих условиях уменьшается ~ в 1,3 раза (с 60,95 до 48,14 кг/м³), а влагосодержание газа увеличивается ~ в 10 раз (с 0,01140 до 0,11635 кг/м³).

На Рис. 2 показано влияние влагосодержания газа на продолжительность времени адсорбции. Так, при увеличении влагосодержания газа с 0,01140 (при 5°C) до 0,11635 (при 50°C) кг/м³ продолжительность стадии адсорбции уменьшается ~ в 16,9 раз.

Из вышеизложенного следует, что, так как технологические параметры процесса, указанные в Таблице 2, оставались неизменными, то увеличение влагосодержания в газе, т. е. увеличение температуры поступающего газа, приводит к необходимости уменьшения продолжительности стадии адсорбции.

Выводы

1. Показано, что изменение температуры, и как следствие, изменение влагосодержания природного газа существенно влияет на процесс глубокой адсорбционной осушки в условиях эксплуатации установок при производстве СПГ.

2. Установлено, что увеличение влагосодержания в газе, т. е. увеличение температуры поступающего газа, приводит к необходимости уменьшения продолжительности стадии адсорбции при условии неизменной конструкции аппарата и постоянной загрузки адсорбента.

3. Продemonстрировано, что проведение процесса адсорбции при пониженных температурах сопровождается значительным увеличением динамической емкости адсорбентов. Это обуславливает существенное сокращение продолжительности стадии адсорбции, позволяя обрабатывать больший объем природного газа без необходимости частой замены или регенерации сорбента. Такое улучшение характеристик процесса не только снижает эксплуатационные расходы, но и заметно повышает его технологическую и экономическую эффективность.

4. Результаты проведенных исследований позволяют разработать рекомендации по оптимизации циклограмм работы адсорберов в зависимости от конкретных условий эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Широкова Г. С., Елистратов М. В. Технологические задачи комплексной очистки природного газа для получения СПГ // Газовая промышленность, 2011. (Спецвыпуск). С. 11–15. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17256698&ysclid=lyal045mp6871833806>.
2. Mokhtab S., Mak J. Y., Valappil J. V. Handbook of Liquefied Natural Gas. Oxford: Elsevier Inc., 2014. 624 p. URL: <https://www.gbv.de/dms/tib-ub-hannover/778193802.pdf>.
3. Alekberov Y. Z., Khalilov R. Z., Ismailova X. G. Research and Application of Natural Zeolite in the Processes of Gas Purification and Drying // SOCAR Proceedings Special Issue 2021. № 2. С. 016–021. URL: socarproceeding2021.pdf.
4. Мельников В. Б. Промысловый сбор и переработка газа и газового конденсата. Учебник. – М.: Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2017. 464 с.
5. Аджиев А. Ю., Морев Н. П., Долинская Н. И. Отечественные цеолиты для глубокой осушки газа при производстве сжиженного природного газа // НефтеГазХимия. 2015. № 3. С. 34–38.
6. Бекиров Т. М., Ланчаков Г. А. Технология обработки газа и конденсата. М.: Недра, 1999. 596 с.
- URL: <https://djvu.online/file/iLQ7CUVz8F9VV?ysclid=lyal3y2lpc590409472>.
7. Технология переработки природного газа и газоконденсата: Справочник: в 2 ч. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. Ч. 1. 517 с. URL: <https://www.geokniga.org/books/24312>.
8. Байрамова А. С. Исследование процесса адсорбционного разделения цеолитами газовой смеси // Международный научно - практический журнал «Интеграция наук». 2018. № 3(18). С.13–15. URL: https://empria.ru/d/vypusk_318_1.pdf?ysclid=lyal8l2cun899599195.
9. Гафарова Э. Б., Мельников В. Б., Федорова Е. Б., Макарова Н. П. Сравнительные исследования динамической адсорбционной активности отечественных и зарубежных цеолитов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 5(165). С. 65–73. – DOI: 10.26730/1999-4125-2024-5-65-73. EDN QPSJJP.
10. Мухамбетова О. А., Кулаков А. В., Пивоварова Н. А., Пивоваров А. Т. Анализ влагосодержания осушенного природного газа // Научные труды АстаханьНИПИИгаза, 2004. № 6. С. 28–31.
11. Ремизов В. В., Зайнуллин В. Ф., Чугунов Л. С., Михайлов Н. В., Ивакин Е. Н. Особенности работы установок адсорбционной осушки газа на месторождениях Крайнего Севера. М.: ИРЦ Газпром, 1995. Обз.информ. Сер. Подготовка и переработка газа и газового конденсата. С. 59.
12. Gorbach A, Stegmair M., Eigenberger G. Measurement and modeling of water vapor adsorption on zeolite 4A-equilibria and kinetics // Adsorption. 2004. № 10. С. 29–49. DOI: 10.1023/B:ADSO.0000024033.60103.ff.
13. Сергунин А. С., Симаненков С. И., Гатапова Н. Ц. Исследование динамики адсорбции и десорбции паров воды активным оксидом алюминия и цеолита NaX // Вестник ТГТУ. 2012. Т. 18. № 3. С. 664–671. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?ysclid=lybixvrij850446076&id=18036301>
14. Фенелонов В. Б. О кинетике и динамике сорбции газов и паров на синтетических цеолитах // Цеолиты, их синтез, свойства и применение: материалы 2-го Всесоюзного совещания по цеолитам: сб. докл. 1965. С. 345–349. URL: <https://djvu.online/file/C8xKB8oeSzYh9?ysclid=lyalpmtd7378241645>.
15. Гафарова Э. Б., Мельников В. Б., Макарова Н. П., Федорова Е. Б. Анализ основных показателей процесса адсорбционной осушки при производстве сжиженного природного газа // Нефтепромышленное дело. 2022. № 1(637). С. 61–65. DOI: 10.33285/0207-2351-2022-1(637)-61-65. EDN WYWPUY.
16. Идельчик И. Е. Аэрогидродинамика

технологических аппаратов. (Подвод, отвод и Машиностроение, 1983. 351 с.
распределение потока по сечению аппаратов). М. :

© 2025 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Гафарова Элиза Багаутдиновна, старший преподаватель, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, (119991, г. Москва, проспект Ленинский, дом 65, корпус 1); 0000-0002-9750-0014; e-mail: gafarovaeliza@mail.ru

Свиридов Дмитрий Владимирович, старший преподаватель, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, (119991, г. Москва, проспект Ленинский, дом 65, корпус 1); e-mail: dvsviridov@rambler.ru

Мельников Вячеслав Борисович, доктор химических наук, профессор, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, (119991, г. Москва, проспект Ленинский, дом 65, корпус 1); e-mail: v.mel@mail.ru

Макарова Наталья Петровна, кандидат химических наук, доцент, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, (119991, г. Москва, проспект Ленинский, дом 65, корпус 1); e-mail: natalyamakarova@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Гафарова Элиза Багаутдиновна – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, проведение исследования, обработка результатов, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Свиридов Дмитрий Владимирович – обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, выводы, написание текста.

Мельников Вячеслав Борисович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы.

Макарова Наталья Петровна – обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE TECHNOLOGY OF THE PROCESS OF DEEP ADSORPTION DRYING OF NATURAL GAS

Eliza B. Gafarova, Dmitry V. Sviridov,
Vyacheslav B. Melnikov, Natalya P. Makarova

Gubkin University

* for correspondence: gafarovaeliza@mail.ru



Article info

Received:

17 February 2025

Accepted for publication:

22 September 2025

Accepted:

30 September 2025

Published:

23 October 2025

Abstract.

The study of the influence of natural gas temperature on the adsorption drying process is important, since temperature conditions significantly affect the efficiency of adsorbents and the duration of their operating cycle. Understanding these factors allows optimizing equipment operating modes, which can lead to a significant increase in economic benefits due to a reduction in the frequency of sorbent replacement and regeneration. The article considers the influence of natural gas temperature on the process of deep adsorption drying under operating conditions of gas processing plants. The results of technological studies demonstrating a change in the duration of the adsorption stage and other process parameters depending on the initial moisture content of the gas are analyzed. Data on the influence of industrial zeolite NaA characteristics on the efficiency of the drying process are presented. It is demonstrated that carrying out the adsorption process at low temperatures is accompanied by a significant increase in the dynamic capacity of the adsorbents. This causes a significant reduction in the duration

Keywords: liquefied natural gas, adsorption drying, zeolites, dynamic activity, gas moisture content.

of the adsorption stage, allowing a larger volume of natural gas to be processed without the need for frequent replacement or regeneration of the sorbent. Such improvement of process characteristics not only reduces operating costs, but also significantly increases its technological and economic efficiency. The obtained results can be used to develop recommendations for optimizing adsorber operation cyclograms depending on the initial operating conditions.

For citation: Gafarova E.B., Sviridov D.V., Melnikov V.B., Makarova N.P. Influence of temperature on the technology of the process of deep adsorption drying of natural gas. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 5(171):74-82. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-5-74-82, EDN: LTPFNB

REFERENCES

1. Shirokova G.S., Elistratov M.V. Technological problems of complex purification of natural gas to obtain LNG. *Gazovaya promyshlennost' = Gas industry*. 2011; (Special issue):11–15. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17256698&ysclid=lyal045mp6871833806>.
2. Mokhatab S., Mak J.Y., Valappil J.V. Handbook of Liquefied Natural Gas. Oxford: Elsevier Inc.; 2014. 624 p. Available at: <https://www.gbv.de/dms/tibbhannover/778193802.pdf>.
3. Alekberov Y.Z., Khalilov R.Z., Ismailova X.G. Research and Application of Natural Zeolite in the Processes of Gas Purification and Drying. *SOCAR Proceedings*. Special Issue. 2021; 2:016-021. Available at: socarproceeding2021.pdf. (In Eng.)
4. Melnikov V.B. Field collection and processing of gas and gas condensate. Textbook. M.: Russian State University of Oil and Gas (NRU) named after I.M. Gubkina; 2017. 464 p. (In Russ.)
5. Adzhiev, A.Yu. Moreva N.P., Dolinskaya N.I. Domestic zeolites for deep gas drying in the production of liquefied natural gas. *NefteGazokhimiya = Petrochemicals*. 2015; (3):34–38. Available at: <https://www.elbrary.ru/item.asp?id=25611731&ysclid=lyal17l6jy416551727>. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Bekirov T.M., Lanchakov G.A. Gas and condensate processing technology. M.: Nedra; 1999. 596 p. Available at: <https://djvu.online/file/iLQ7CUVz8F9VV?ysclid=lyal3y2lpc590409472>.
7. Technology for processing natural gas and gas condensate: Handbook: 2 h. M.: Nedra-Business Center LLC; 2002. Part 1. 517 p. Available at: <https://www.geokniga.org/books/24312>.
8. Bayramova A.S. Study of the process of adsorption separation of a gas mixture by zeolites. *Mezhdunarodnyj nauchno - prakticheskij zhurnal «Integraciya nauk = International scientific and practical journal "Integration of Sciences"». 2018; 3(18):13–15.*
9. Gafarova E.B., Melnikov V.B., Fedorova E.B., Makarova N.P. Comparative studies of dynamic adsorption activity of domestic and foreign zeolites. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 5(165):65–73. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-5-65-73, EDN: QPSJJP.
10. Mukhambetova O.A., Kulakov A.V., Pivovarov N.A., Pivovarov A.T. Analysis of moisture content of dried natural gas. *Scientific works of AstakhanNIPGaz*. 2004; 6:28–31. (In Russ.)
11. Remizov V.V., Zainullin V.F., Chugunov L.S., Mikhailov N.V., Ivakin E.N. Features of operation of adsorption gas drying units at fields in the Far North. – M.: IRC Gazprom; 1995. Review information. Series: Preparation and processing of gas and gas condensate. P. 59. (In Russ.)
12. Gorbach A., Stegmair M., Eigenberger G. Measurement and modeling of water vapor adsorption on zeolite 4A-equilibria and kinetics. *Adsorption*. 2004; 10:29–49. DOI:10.1023/B:ADSO.0000024033.60103.ff. (In Eng.)
13. Sergunin A.S., Simanenko S.I., Gatapova N.Ts. Study of the dynamics of adsorption and desorption of water vapor by active aluminum oxide and NaX zeolite. *Vestnik TSTU*. 2012; 18(3):664–671. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?ysclid=lybixvrizj850446076&id=18036301>. (In Russ., abstract in Eng.)
14. Fenelonov V.B. On the kinetics and dynamics of sorption of gases and vapors on synthetic zeolites. Zeolites, their synthesis, properties and application: materials of the 2nd All-Union meeting on zeolites: collection. 1965;345–349. Available at: <https://djvu.online/file/C8xKB8oeSzYh9?ysclid=lyalapmtd7378241645>.
15. Gafarova E.B., Melnikov V.B. Comparative analysis of key process indicators adsorption drying in production liquefied natural gas. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2022; 2(150):31–41. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.26730/1999-41252022-2-31-41.
16. Idelchik I.E. Aerohydrodynamics of technological devices. (Supply, removal and distribution of flow over the cross-section of devices). M.: Mashinostroenie; 1983. 351 p. (In Russ.)

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Eliza B. Gafarova, Senior Lecturer, National University of Oil and Gas "Gubkin University", (119991 Moscow, Leninsky prospect, 65, building 1); 0000-0002-9750-0014; e-mail: gafarovaeliza@mail.ru

Dmitry V. Sviridov, Senior Lecturer, National University of Oil and Gas "Gubkin University", (119991 Moscow, Leninsky prospect, 65, building 1); e-mail: dvsviridov@rambler.ru

Vyacheslav B. Melnikov, Dr. Sc. in Chemistry, Professor, National University of Oil and Gas "Gubkin University", (119991 Moscow, Leninsky prospect, 65, building 1); v.mel@mail.ru

Natalya P. Makarova, PhD (chemistry), associate professor, National University of Oil and Gas "Gubkin University", (119991 Moscow, Leninsky prospect, 65, building 1); e-mail: natalyamakarova@mail.ru

Contribution of the authors:

Eliza B. Gafarova – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualization of research; conducting research, processing results, collecting and analyzing data; drawing the conclusions; writing the text.

Dmitry V. Sviridov – reviewing the relevant literature; conceptualization of research; drawing the conclusions; writing the text.

Vyacheslav B. Melnikov – research problem statement; conceptualization of research; drawing the conclusions.

Natalya P. Makarova – reviewing the relevant literature; conceptualization of research.

All authors have read and approved the final manuscript.

