

УДК 66.021

<https://doi.org/10.24412/2310-8266-2023-1-5-10>

Выбор наиболее эффективного пути переработки метана в условиях отечественного рынка

Аршинов И.С.¹, Жагфаров Ф.Г.¹, Мамаев А.В.², Мирошниченко Д.А.²,¹ Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 119991, Москва РоссияORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0057-7128>, E-mail: arschinov1999@yandex.ruORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7344-015X>, E-mail: firdaus_jak@mail.ru² ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 142717, пос. Развилка, Московская обл., РоссияORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1666-1201>, E-mail: A_Mamaev@vniigaz.gazprom.ruORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3483-2214>, E-mail: d_miroshnichenko@vniigaz.gazprom.ru

Резюме: Необходимость развития отечественной газохимии в сложившихся геополитических условиях имеет важное значение для укрепления российской экономики. Природный газ, используемый в энергетических целях, а также направляемый на экспорт, представляет собой ценное сырье, посредством переработки которого можно получить широкий ассортимент продуктов с высокой добавленной стоимостью. В работе был проведен анализ уровня готовности отечественных технологий метановой химии к промышленной реализации, предложены решения существующих проблем.

Ключевые слова: газохимия, метан, переработка газа, метанол.

Для цитирования: Аршинов И.С., Жагфаров Ф.Г., Мамаев А.В., Мирошниченко Д.А. Выбор наиболее эффективного пути переработки метана в условиях отечественного рынка // НефтеГазХимия. 2023. № 1. С. 5–10.

DOI:10.24412/2310-8266-2023-1-5-10

CHOOSING AN EFFECTIVE WAY OF PROCESSING METHANE IN THE CONDITIONS OF THE RUSSIAN MARKET

**Arshinov Ivan S.¹, Zhagfarov Firdaves G.¹,
Mamaev Anatoliy V.², Miroshnichenko Dmitry A.²**¹ Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), 119991, Moscow, RussiaORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0057-7128>,

E-mail: arschinov1999@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7344-015X>, E-mail: firdaus_jak@mail.ru² Gazprom VNIIGAZ LLC, 142717, Village Razvilka, Moscow region, RussiaORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1666-1201>,

E-mail: A_Mamaev@vniigaz.gazprom.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3483-2214>,

E-mail: d_miroshnichenko@vniigaz.gazprom.ru

Abstract: The need to develop domestic gas chemistry in the current geopolitical conditions of our state is important for strengthening its economy. Methane used for energy purposes, as well as exported, is a valuable raw material, through the processing of which it is possible to obtain a whole range of products with high added value. The analysis of the level of readiness of domestic methane chemistry technologies for industrial implementation was carried out, solutions to existing problems were proposed.

Keywords: gas chemistry, methane, gas processing, methanol.

For citation: Arshinov I.S., Zhagfarov F.G., Mamaev A.V., Miroshnichenko D.A. CHOOSING AN EFFECTIVE WAY OF PROCESSING METHANE IN THE CONDITIONS OF THE RUSSIAN MARKET. Oil & Gas Chemistry. 2023, no. 1, pp. 5–10.

DOI:10.24412/2310-8266-2023-1-5-10

Введение

Россия занимает первое место в мире по доказанным запасам природного газа. По оценке ОПЕК, в 2020 году на территории России было сосредоточено 48,9 трлн м³ природного газа, что составляло примерно 23,7% от общемирового значения.

Большая часть ежегодно добываемого газа в нашей стране (по данным Минэнерго России в 2022 года было добыто 671 млрд м³) используется в энергетических целях и поставляется на экспорт. На переработку направляется примерно 12% добываемого газа, при этом в качестве сырья химических производств используется около 5–6%. Это довольно низкие показатели для страны, обладающей такими колоссальными ресурсами.

Для снижения зависимости российской экономики от экспорта углеводородного сырья, устойчивого развития высокотехнологичных отраслей промышленности и проведения эффективной политики импортозамещения необходима ускоренная реализация новых проектов по производству газохимической продукции, имеющей устойчивый спрос на внутреннем и мировом рынках.

Для оценки сырьевого потенциала текущих и планируемых к разработке газодобывающих регионов рассмотрены прогнозы по добычным возможностям газовой отрасли России и прогнозируемым уровням добычи природного газа. На рис. 1 представлены усредненные прогнозные данные зарубежных и отечественных организаций (отчеты IEA (Франция), Rystad Energy (Норвегия), материалы Минэнерго РФ).

Из рис. 1 видно, что на настоящее время объемы метанового сырья, которое может добываться, но не востребовано рынком, составляют около 144 млрд м³/год. Прогнозируется, что к 2050 году объемы свободного метанового сырья увеличатся и составят более 152 млрд м³/год.

В связи с вышеуказанным особую актуальность приобретает поиск и

определение перспективных направлений глубокой переработки метанового сырья, которые позволили бы существенно диверсифицировать деятельность добывающих нефтегазовых компаний.

Основная часть

Необходимость развития отечественной нефтегазохимии отражена в Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года [1], где, в частности, отмечено, что эффективным показателем решения задачи укрепления и сохранения российских позиций в мировой экономике будет являться увеличение доли углеводородного сырья, направляемого на химическую переработку (рис. 2).

Следует отметить, что основными факторами, тормозящими развитие отечественной газохимии, являются высокая капиталоемкость и значительные сроки окупаемости новых проектов. Крупные добывающие компании зачастую финансируют перерабатывающую отрасль по остаточному принципу, в связи с тем что она является непрофильной стороной ведения их бизнеса, а специализированные холдинги практически не расширяют географию своих производств «метанового крыла» из-за высоких капиталовложений в новые проекты. В этой связи увеличение мощностей уже существующих газохимических предприятий за счет частичной модернизации технологических установок стало основным трендом развития отрасли в течение последних 10–15 лет [2].

Согласно анализу открытых источников, к 2030 году можно ожидать увеличения потребления природного газа газохимической промышленностью на 17 млрд м³ и введения в эксплуатацию восьми новых производств на существующих и новых площадках (рис. 3) [3].

Из рис. 3 видно, что основными драйверами развития глубокой переработки природного газа в России на ближайшие 10 лет будут являться традиционные крупнотоннажные производства метановой химии (метанола, аммиака и минеральных удобрений).

Конкретной целью для укрепления экономики нашего государства стало повышение степени переработки природного газа, а одной из задач при этом является выбор наиболее эффективного пути превращения метана в продукцию с высокой добавленной стоимостью с учетом современных мировых тенденций.

Рис. 1

Прогноз добычных возможностей и объемов добычи природного газа до 2050 года

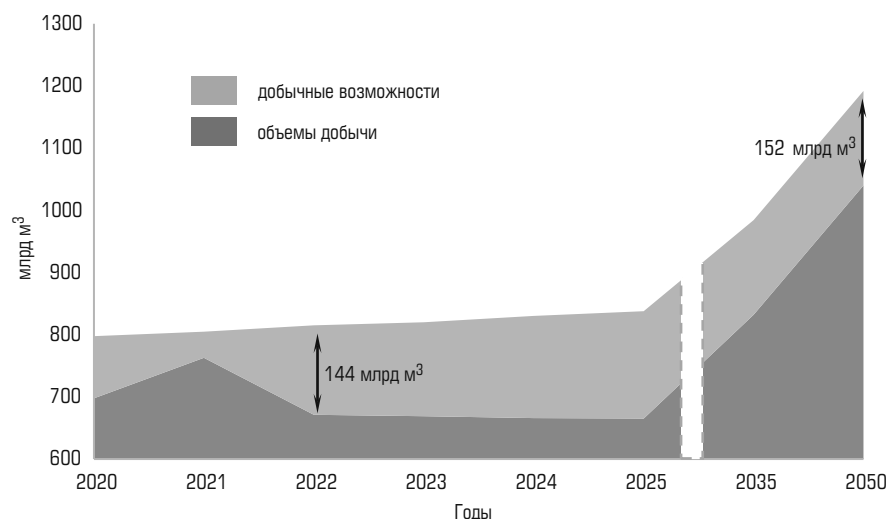


Рис. 2

Прогноз динамики рыночных показателей нефтегазохимической отрасли согласно Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года

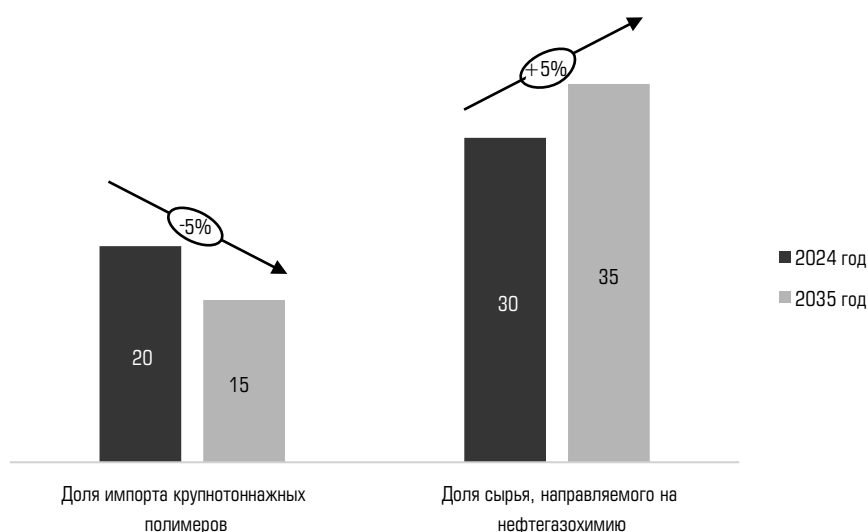


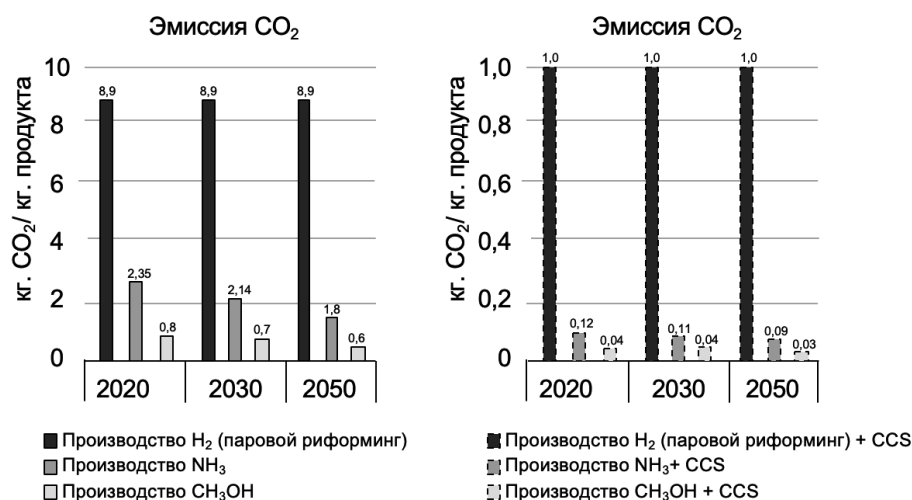
Рис. 3

Карта инвестиционных газохимических проектов России



Рис. 4

Фактические и прогнозные средние значения выбросов диоксида углерода, сопровождающие процессы метановой химии



Источник: данные IEA (Международное энергетическое агентство)

Например, одним из мировых трендов последних лет стала проблема глобального потепления, широко обсуждаемая в большинстве развитых стран мира. По мнению некоторых ученых, причиной климатических изменений является в том числе антропогенное воздействие человека на природу, связанное с выбросами парниковых газов, в частности диоксида углерода, образующегося в большинстве процессов генерации энергии при работе механизмов и машин, основанной на процессах сжигания ископаемых топлив.

Таким образом, с высокой долей вероятности при рассмотрении перспективных проектов химической переработки природного газа в среднесрочной перспективе потребуется учет критерия по эмиссии CO₂ в производстве целевой продукции (рис. 4), а также планирование дополнительных затрат на мероприятия по снижению выбросов.

Из данных на рис. 4 видно, что наибольшей привлекательностью для возможного развития газохимической промышленности, отвечающей требованиям международной климатической повестки, отличается переработка природного газа в метанол.

Таблица 1

Технологические критерии процессов переработки природного газа

Наименование процесса переработки метана	Уравнение реакции	ΔH_{298} , кДж/моль	Количество выделяемого водорода кг H ₂ /кг CH ₄	Условия проведения процесса	Катализатор/инициатор	Выход продукта, %
Пиролиз	CH ₄ → C + 2H ₂	74,87	0,25	>1000 °C		95
Пиролиз	2CH ₄ → C ₂ H ₂ + 3H ₂	376,48	0,19	1500 °C		8–12
Паровая конверсия	CH ₄ + H ₂ O → CO + 3H ₂	206,17	0,38	850 °C, 25–35 атм.	Ni-содержащий	
Углекислотная конверсия	CH ₄ + CO ₂ → 2CO + 2H ₂	248,30	0,25	1000–1100 °C	Rh/Pt/Al ₂ O ₃	
Парциальное окисление	CH ₄ + 1/2 O ₂ → CO + 2H ₂	–35,60	0,25	1100–1300 °C		
Парциальное окисление	CH ₄ + 1/2 O ₂ → CH ₃ OH	163,00	0,00	200–500 °C, 30–90 атм	Соли Cu ²⁺ и Fe ²⁺	5–10
Хлорирование	CH ₄ + Cl ₂ → CH ₃ Cl + HCl	105,00	0,00	325–427 °C		95
Окислительный аммонолиз	CH ₄ + NH ₃ + 1/2 O ₂ → HCN + 3H ₂ O	–474,62	0,00	1000 °C, 2 атм.	Pt/Rh/Ir (сплав)	48
Нитрование	CH ₄ + HNO ₃ → CH ₃ NO ₂ + H ₂ O	126,00	0,00	350–500 °C, 5–10 атм.		90
Взаимодействие с серой	CH ₄ + 4S → CS ₂ + 2H ₂ S	150,00	0,00	650 °C	Селикагель	96
Взаимодействие с сероводородом	CH ₄ + 2H ₂ S → CS ₂ + 4H ₂	98,30	0,50	>900 °C		90
Димеризация в этилен	2CH ₄ → C ₂ H ₄ + 2H ₂	101,00	0,13	700–800 °C	Оксидные марганцовые (NaMnO ₄)	8–12

Таблица 2

Состояние рынка отечественных крупнотоннажных технологий получения продуктов из синтез-газа

Наименование критерия	Водород (H_2)	Метанол (CH_3OH)	Аммиак (NH_3)
Мощность предприятий РФ, тыс. т/год	В составе нефтегазохимических производств	5460	19840
Доля продукции, выпускаемой по отечественной технологии, %	–	10,5	37,4
Состояние производства отечественных катализаторов и сорбентов	Отечественный рынок обеспечен катализаторами паровой конверсии, средне- и низкотемпературной конверсии монооксида углерода, а также цинкоксидным адсорбентом стадии очистки природного газа от серосодержащих примесей. Отсутствует производство сорбентов стадии концентрирования водорода КЦА (короткоцикловая адсорбция)	Отечественный рынок располагает мощностями и технологиями производства катализатора стадии получения и подготовки синтез-газа. Отечественные катализаторы промышленного синтеза метанола не производятся предприятиями РФ. Наличие научных и промышленных наработок в части получения катализатора (ООО «НИАП-катализатор»)	Отечественный рынок обеспечен катализаторами стадий получения и подготовки синтез-газа. Полностью отсутствует производство промотированного железного катализатора синтеза аммиака на территории РФ
Критические элементы отечественной технологии	Относительно высокие энергозатраты стадии получения конвертированного газа на печах/конверторах отечественной конструкции	Относительно высокие энергозатраты стадии получения конвертированного газа на печах/конверторах отечественной конструкции	Отсутствие компетенций отечественных организаций в части конструирования центробежного многоступенчатого компрессора синтез-газа высокого давления с высокой производительностью
Предложения по доведению технологии до уровня промышленной реализации	1. Организация НИОКР в части разработки эффективного адсорбента КЦА. 2. Организация ОКР по разработке энергоэффективных конструкций конверторов метана. 3. Организация НИОКР по созданию и развитию технологий хранения и транспортировки H_2 с целью создания базы будущих прикладных промышленных технологий	1. Адаптация к современным требованиям производства и промышленное освоение советской внедренной технологии «Тандем», обладающей низкими показателями энергозатрат относительно других известных способов получения синтез-газа.	1. Инициирование НИОКР российским НИИ катализа, посвященным разработке катализатора синтеза аммиака. 2. Инициирование НИОКР инженеринговыми организациями, направленными на разработку компрессора синтез-газа с заданными техническими характеристиками
Достижимый долгосрочный эффект от реализации мощностей	Развитие водородной энергетики страны	Получение сырья, обеспечивающего путь к осуществлению политики импортозамещения, путем синтеза из него высоколиквидной продукции	Поддержание стабильных объемов экспорта высоколиквидной продукции

Одним из факторов, определяющих в итоге затраты по основным переделам производства конечной продукции, является энтальпия образования (ΔH_f) сырья и продуктов синтеза, которая отражает количество необходимой подводимой или отводимой теплоты для осуществления процесса. Также важное значение имеет необходимость применения и стоимость катализаторов, связанная с составом, способом и условиями их получения; условия проведения процесса – все это входит в перечень основных технологических критериев выбора наиболее эффективной технологии. Сравнение количества выделяемого водорода в процессе переработки метана позволяет сделать вывод о пригодности того или иного направления для развития водородной энергетики, необходимость создания которой отмечают правительственные стратегические документы. Основные процессы переработки природного газа первого передела и их характеристики приведены в табл. 1.

При анализе представленных данных табл. 1 видно, что процесс пиролиза метана с получением мелкодисперсного углерода и водорода на первый взгляд, является наиболее привлекательным, так как выход водорода составляет 95% при сравнительно высоком количестве выделяемого продукта. Однако при реализации данной технологии в крупнотоннажном масштабе возникает вопрос об улавливании

образующегося технического углерода и прежде всего о его дальнейшем использовании. На сегодняшний день объем рынка сбыта вышеупомянутого тонкодисперсного углерода слишком мал для крупномасштабного применения процесса. Также показатели энергозатрат процесса пиролиза в 1,1 раза выше традиционного процесса паровой конверсии природного газа [4].

Методы конверсии метана в синтез-газ открывают доступ к широкому спектру процессов органического синтеза, сырьем в которых может выступать смесь CO и H_2 (метанол, аммиак и их производные). Вышеупомянутый процесс также является отработанным промышленным вариантом переработки метанового сырья, что обеспечивает большую привлекательность для его инвестирования по сравнению с другими технологиями, приведенными в табл. 1.

Дополнительным критерием выбора технологии в современной геополитической ситуации является наличие технологий, готовых к промышленной реализации. Санкционное давление на российскую экономику, осуществляемое рядом недружественных стран, привело к отказу большинства иностранных компаний-лицензиаров и производителей оборудования от участия в российских проектах. Проведенный мониторинг технологических установок на ряде существующих отечественных производств позво-

Таблица 3

Лицензиары и потенциальные разработчики отечественных технологий переработки метанола и аммиака в товарные продукты

Сырье (отечественный лицензиар)	Товарный продукт	Отечественный лицензиар/ потенциальный разработчик технологии
Метанол (ОАО «ГИАП»)	Уксусная кислота	ОАО «ГИАП»
	Формальдегид	ИНХС РАН
	Диметиловый эфир	ИНХС РАН
	Низшие олефины (этилен, пропилен)	ИНХС РАН
Аммиак (ОАО «ГИАП»)	Карбамид	ОАО «НИИК»
	Азотная кислота	ОАО «ГИАП»
	Аммиачная селитра	ОАО «ГИАП»

лил определить основные критические элементы и разработать предложения по их доработке с целью доведения имеющихся отечественных технологий до крупномасштабной реализации (табл. 2).

Промышленно освоенные крупнотоннажные технологии монетизации метана представлены путем его переработки в метанол, аммиак и их производные. Сами по себе они являются сырьем для получения высоколиквидной продукции, производство которой позволит обеспечить рост экономики страны. Основные пути переработки метанола и аммиака в товарные продукты и соответствующие отечественные лицензиары и потенциальные разработчики технологий представлены в табл. 3.

Развитие газохимической отрасли Российской Федерации в долгосрочной перспективе, как отмечено в основных стратегических и программных документах, рассматривается в контексте масштабного роста мощностей по выпуску крупнотоннажных полимеров. Вместе с тем организация новых газохимических комплексов будет представлена за счет осуществления кластерного подхода и центром в них будут мощности по производству низших олефинов.

Базовой проблемой газохимической промышленности России является состояние мощностей для производства мономеров. Почти 75% оборудования было введено более 25 лет назад, а степень износа основных фондов составляет приблизительно 50% [5]. Для достижения целевых показателей стратегических и программных документов (снижение доли импорта крупнотоннажных полимеров до 15% к 2035 году) необходимо увеличивать производство полимерной продукции, а вместе с тем обновлять и наращивать производство этилена и пропилена. Производственный потенциал отечественных производителей крупнотоннажных полимеров на начало 2022 года составлял приблизительно 7,5 млн т. Для достижения показателей Энергостратегии РФ к 2035 году необходимо производить оценочно 12

млн т полимерной продукции, а с учетом прогнозов развития внутреннего и внешнего рынка крупнотоннажных полимеров [6] объемы выработки на отечественном рынке к 2050 году должны увеличиться приблизительно в 2,5 раза и составить 19 млн т в год.

Кратное увеличение производительности по выпуску низших олефинов представляется не только масштабированием традиционной технологии их получения – пиролиза, но и осуществлением ввода мощностей МТО-и МТР-процессов, сырьем в которых является метанол, получаемый из метана, свободный потенциал которого намного выше, чем у сырья процесса пиролиза.

Более детальный анализ и технологическое обоснование использования того или иного процесса переработки углеводородного сырья в низшие олефины требует применения методов компьютерного моделирования, позволяющих достаточно точно оценить величину выхода целевой продукции, энергопотребление производства, объемы побочных продуктов и отходов, экологические показатели.

Результаты, полученные путем компьютерного моделирования, определяют эффективность пути переработки метана в низшие олефины через получение метанола, и в случае их оптимистичных значений позволят инициировать НИ-ОКР ведущим исследовательским центрам, задав вектор развития отечественных технологий GTO (газ в олефины).

Заключение

Экономика России как никогда нуждается в продуктах химической промышленности. Отечественная нефтегазовая отрасль стоит как перед вызовами нового времени – экологическими проблемами, так и перед необходимостью достижения технологического суверенитета в условиях ограниченных ресурсов.

Наиболее доступной и ликвидной технологией является технология получения метанола, что обусловлено наличием отечественных лицензиаров процесса и научно-технических наработок по производству катализаторов, вариативностью дальнейшей переработки в продукцию с высокой добавленной стоимостью (в том числе в низшие олефины, являющиеся сырьем для получения крупнотоннажных полимеров), а также соответствием международной климатической политике.

Решение ранее существовавших и недавно возникших проблем увеличения доли перерабатываемого природного газа позволит достичь технологического суверенитета государства и обеспечить рост экономики отечественного рынка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202006110003> (дата обращения: 20.12.2022).
2. Былкин А., Посыпанко Н., Львова А., Внутренний спрос на газ: тренд на стагнацию? URL: https://vygon.consulting/upload/iblock/dfc/vygon_consulting_domestic_gas_demand.pdf (дата обращения: 20.12.2022).
3. Центр стратегических разработок. Нефтегазохимия в России: возможности для роста. URL: <https://www.csr.ru/upload/iblock/d88/9vy10zbpvss8f0h8z31616dij5zab3s6.pdf> (дата обращения: 20.12.2022).
4. Кодряну Н.П., Ишмурзин А.А., Дауди Д.И. и др. Теоретическая основа и практический анализ технологий для водородной стратегии Российской Федерации // Газовая промышленность. 2022. № 1. С. 56-70.
5. Жафаров Ф.Г., Гейси П.А.Ф. Современное состояние производства этилена / Булатовские чтения. Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности: Мат. II Междунар. науч.-практ. конф. 2018. Краснодар: Изд. Дом-Юг. С. 88-90.
6. Волкова А.В. Рынок крупнотоннажных полимеров. URL: <https://dcenter.hse.ru/data/2020/07/07/1595325171.pdf> (дата обращения 21.12.2022).

REFERENCES

1. *Energeticheskaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2035 goda* (Energy strategy of the Russian Federation for the period up to 2035) Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202006110003> (accessed 20 December 2022).
2. Bylkin A., Posypanko N., L'vova A. *Vnutrenniy spros na gaz: trend na stagnatsiyu?* (Domestic gas demand: trend towards stagnation?) Available at: https://vygon.consulting/upload/iblock/dfc/vygon_consulting_domestic_gas_demand.pdf (accessed 20 December 2022).
3. *Tsentralizirovannyye razrabotki. Neftgazokhimiya v Rossii: vozmozhnosti dlya rosta* (Center for strategic research. Oil and gas chemistry in Russia: opportunities for growth) Available at: <https://www.csr.ru/upload/iblock/d88/9vy10zbpvss8f0h8z31616dij5zab3s6.pdf> (accessed 20 December 2022).
4. Kodryanu N.P., Ishmurzin A.A., Daudi D.I. Theoretical basis and practical analysis of technologies for the hydrogen strategy of the Russian Federation. *Gazovaya promyshlennost'*, 2022, no. 1, pp. 56-70 (In Russian).
5. Zhagfarov F.G., Geyasi P.A.F. Sovremennoye sostoyaniye proizvodstva etilena [The current state of ethylene production]. *Bulatovskiye chteniya: Trudy II Mezhd. nauch.-prakt. konf. T. 5. Khimicheskaya tekhnologiya i ekologiya v neftyanoy i gazovoy promyshlennosti* [Bulatov readings: Proc. of II Intl. scientific-practical. conf. V. 5. Chemical technology and ecology in the oil and gas industry]. Krasnodar, 2018, pp. 88-90.
6. Volkova A.V. *Rynok krupnotonnazhnykh polimerov* (The market of large-capacity polymers) Available at: <https://dcenter.hse.ru/data/2020/07/07/1595325171.pdf> (accessed 21 December 2022).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Аршинов Иван Сергеевич, магистрант кафедры газохимии, РГУ нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина.

Жагфаров Фирдавес Гаптелфартович, д.т.н., проф., завкафедрой газохимии, РГУ нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина.

Мамаев Анатолий Владимирович, к.т.н., начальник корпоративного научно-технического центра технологий подготовки, сжижения и переработки газа, ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

Мирошниченко Дмитрий Аркадьевич, к.т.н., начальник лаборатории, ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

Ivan S. Arshinov, Undergraduate, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University).

Firdaves G. Zhagfarov, Dr. Sci. (Tech.), Prof., Head of the Department of Gaschemistry, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University).

Anatoliy V. Mamaev, Cand. Sci. (Tech.), Head of the Corporate Scientific and Technical Center for Gas Preparation, Liquefaction and Processing Technologies, Gazprom VNIIGAZ.

Dmitry A. Miroshnichenko, Cand. Sci. (Tech.), Head of the Laboratory, Gazprom VNIIGAZ.

