

УДК 661.721/629.4.016

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИИ
МАЛОТОННАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТАНОЛА
ПРИ ПАРЦИАЛЬНОМ ОКИСЛЕНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА
ВОЗДУХОМ**

**TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF LOW-TONNAGE
METHANOL PRODUCTION TECHNOLOGY UNDER PARTIAL
OXIDATION OF NATURAL GAS BY AIR**

**Алексей Михайлович Кузьмин, Антон Александрович Улманис,
София Николаевна Ценева, Георгий Викторович Буслаев,
Алексей Александрович Морин**

**Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Россия
ООО «ГСГ», Санкт-Петербург, Россия**

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

**Aleksey M. Kuzmin, Anton A. Ulmanis, Sofiia N. Tceneva,
Georgy V. Buslaev, Aleksey A. Morin**

**Baltic State Technical University «VOENMEH»
named after D. F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russia
LLC «GSG», Saint-Petersburg, Russia**

**Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia
e-mail: kuzmin.lex@gmail.com**

Аннотация. В статье рассматриваются три варианта малотоннажных метанольных установок производительностью 5 000, 10 000 и 20 000 т/год, проведено исследование по оценке эффективности установок методом дисконтированных денежных потоков, позволяющих рассчитать доходность

вложений в проект с учетом затрат, выручки от реализации продукции, рыночной ставки доходности и инфляции. В модели учтены: прогнозная цена на метанол, влияние экологического законодательства, инженерные изыскания и проектирование, поставка аппаратов комплекса производства синтез-газа, доставка и пуско-наладка оборудования и др. Здесь также приведен сравнительный анализ решений компаний, предлагающих новые методы переработки попутного нефтяного и низконапорного газа.

Abstract. In the article three variants of low-tonnage installations with a capacity of 5 000, 10 000 and 20 000 tons of methanol per year are considered. Study to assess the effectiveness of installations using discounted money flows and allowing to calculate the profitability of investments in the project taking into account costs, revenue from sales, market rate of return and inflation is conducted. The model takes into account: the forecast price for methanol, the impact of environmental legislation, engineering surveys and design, delivery of devices for the synthesis gas production complex, delivery and commissioning of equipment, etc. A comparative analysis of companies offering solutions for processing associated gas is presented.

Ключевые слова: газогенератор синтез-газа, метанол, технико-экономическая оценка, малотоннажное производство, нефтегазохимия

Keywords: synthesis gas generator, methanol, technical and economic assessment, low-tonnage production, petrochemistry

Одной из центральных проблем современной нефтегазохимии является переработка газового сырья в промышленных условиях, направленная, прежде всего, на обеспечение требований экологического законодательства в области утилизации попутного нефтяного газа (ПНГ) и газа низкого давления, а также на повышение маржинальности бизнеса [1–6]. Она особенно актуальна при разработке удаленных, труднодоступных,

малодебитных нефтяных и низконапорных газовых месторождений, в которых сосредоточено свыше 50 % разведанных запасов традиционного сырья, а также при утилизации ПНГ, шахтных и сланцевых газов [1–9]. Единственный конструктивный способ решения этой проблемы состоит в создании малотоннажных транспортабельных GTL установок, позволяющих обеспечивать комплексную переработку газового сырья в жидкие продукты, используемые непосредственно в районах добычи, в том числе на морских платформах [1, 5–12]. В зависимости от состава исходного сырья ими могут быть метанол, ароматические углеводороды, моторные топлива, синтетическая нефть и диметиловый эфир [1, 5–13]. В промышленных условиях наиболее востребован метанол, расход которого в качестве ингибитора гидратообразования при добыче и транспортировке углеводородного сырья в РФ составляет более 500 тыс. т/год [6, 9, 14–16].

Известны различные способы малотоннажного производства метанола из сухого (природного) газа, но в настоящее время в арктическом районе РФ существуют только три установки, успешно эксплуатируемые дочерними обществами ПАО «НОВАТЭК», которые представлены в таблице 1. Описанные установки функционируют по традиционной технологии, включающей получение синтез-газа путем паровой каталитической конверсии предварительно подготовленного с использованием имеющейся инфраструктуры промысла природного газа и последующего каталитического синтеза метанола на медьцинкалюминиевых катализаторах [17].

Таблица 1. Перечень малотоннажных установок, эксплуатируемых на удаленных арктических промыслах

Table 1. List of small-tonnage units operated in remote Arctic fields

	Модель	Производительность	Эксплуатирующая организация
1	ИОПУ-12,5	12 500 т метанола в год	ООО «НОВАТЭК-ЮРХАРОВНЕФТЕГАЗ»
2	УПМ-40	40 000 т метанола в год	ООО «НОВАТЭК-ЮРХАРОВНЕФТЕГАЗ»
3	УПМ-50	50 000 т метанола в год	ОАО «АРКТИКГАЗ»

При эксплуатации описанных выше установок в процессе эксплуатации трубчатых реакторов каталитического парового риформинга углеводородного газа, содержащего С3-С5 компоненты, возникает ряд сложностей, связанных с закупоркой трубок реактора с катализатором твердым углеродом (сажей). Для очистки катализатора необходимо периодически (до 10 % рабочего времени) останавливать производство метанола и очищать катализатор от сажи путем ее газификации водяным паром. С учетом данной проблемы перспективной инновационной технологией малотоннажного производства метанола является парциальное некаталитическое окисление природного газа воздухом с получением азотсодержащего синтез-газа, подаваемого в проточный каскад реакторов каталитического синтеза метанола [8–11, 18, 19]. Возможность использования воздуха в качестве окислителя позволяет проектировать модульные транспортабельные, безопасные в эксплуатации и, в значительной степени, энергонезависимые установки. Однако для их промышленного внедрения необходимо создание опытных установок с целью экспериментальной проверки расчетных материальных балансов и детальной технико-экономической оценки проектов.

В настоящей статье проведен технико-экономический анализ эффективности малотоннажных установок производства метанола по технологии получения синтез-газа путем некаталитического парциального окисления природного газа воздухом в трехкомпонентных газогенераторах синтез-газа с последующим каталитическим синтезом метанола в трехреакторном проточном каскаде с промежуточным выводом метанола-сырца после каждого реактора [20–23].

Объектами исследования являются три конкурентных варианта малотоннажной установки производительностью 5 000, 10 000 и 20 000 т метанола в год. Оценка эффективности установок проводилась методом дисконтированных денежных потоков, который позволяет рассчитать доходность вложений в проект с учетом затрат, выручки от реализации

продукции, рыночной ставки доходности и инфляции. Главными расчетными показателями проекта являются: внутренняя норма доходности (IRR), период окупаемости (PP), дисконтированный период окупаемости (DPP), индекс прибыльности (PI), чистая приведенная стоимость (NPV). Валюта для расчета финансовой модели – доллар США (USD). Расчеты производились на основании общепринятых принципов экономической оценки инвестиционных проектов [24, 25].

Результаты расчетов экономических показателей при курсе 73 руб./USD приведены в таблице 2.

Таблица 2. Экономические показатели вариантов установок различной мощности

Table 2. Economic indicators of variants for installations of various capacities

Показатели	Единицы	Вариант 5 000 т	Вариант 10 000 т	Вариант 20 000 т
IRR	%	53	67	74
NPV	тыс. USD	9 366	24 258	53 675
PP	лет	3.9	3.5	3.4
DPP	лет	4.8	4.1	3.9
PI	един.	3.35	4.4	4.9
Инвестиции	тыс. USD	3 982	7 241	13 900
Терминальная стоимость	тыс. USD	18 147	43 672	94 529
Период прогноза	лет	12	12	12
Ставка дисконта	%	14	14	14

Как следует из таблицы 2, наиболее коммерчески привлекательным является вариант установки мощностью 20 000 т метанола в год. Это обусловлено экономией ряда инвестиционных затрат, а именно: расходы на проектирование остаются постоянными для всех вариантов; затраты на оборудование при увеличении мощности установки возрастают

незначительно. Удельные инвестиционные затраты на 1 т производимого метанола для установки годовой мощностью 20 000 т составляют 691 USD в сравнении с 792 USD для установки мощностью 5 000 т, т.е. на 14 % меньше. Штатный состав сотрудников для всех вариантов можно принимать одинаковым, что приводит к сокращению операционных издержек для более мощных установок.

Основными этапами инвестиций на реализацию проекта во временной последовательности являются: инженерные изыскания и проектирование; поставка аппаратов комплекса производства синтез-газа; воздушного компрессора, газового компрессора, блока синтеза метанола; доставка и пуско-наладка оборудования. В инвестиции не входит оборудование инженерной площадки под установку, так как точный объем подготовительных работ определяется после выбора площадки (по приблизительным расчетам затраты составят менее 6 % от общей сметы). Поквартальные инвестиционные расходы представлены в таблице 6.

В части логистики необходимо отметить, что основные потребители метанола для предотвращения гидратообразования удалены от мест его производства. По оценкам экспертов, увеличение стоимости метанола только за счет логистических издержек в настоящее время составляет 150–200 % и более к цене продукта на условиях франко-склад производителя [26]. При прогнозировании этой превалирующей составляющей стоимости продукта использована привязка стоимости логистики к цене метанола с плавным снижением в течение срока жизни проекта. Предполагаемое в статье снижение логистических издержек обусловлено оптимизацией маршрутов и прогнозируемым развитием транспортных коридоров, включая усиление влияния Северного Морского пути.

Коронавирусный кризис сильно повлиял на рынок метанола. В 2020 г. цена опускалась вплоть до 155 USD/т (рисунок 1) [27].

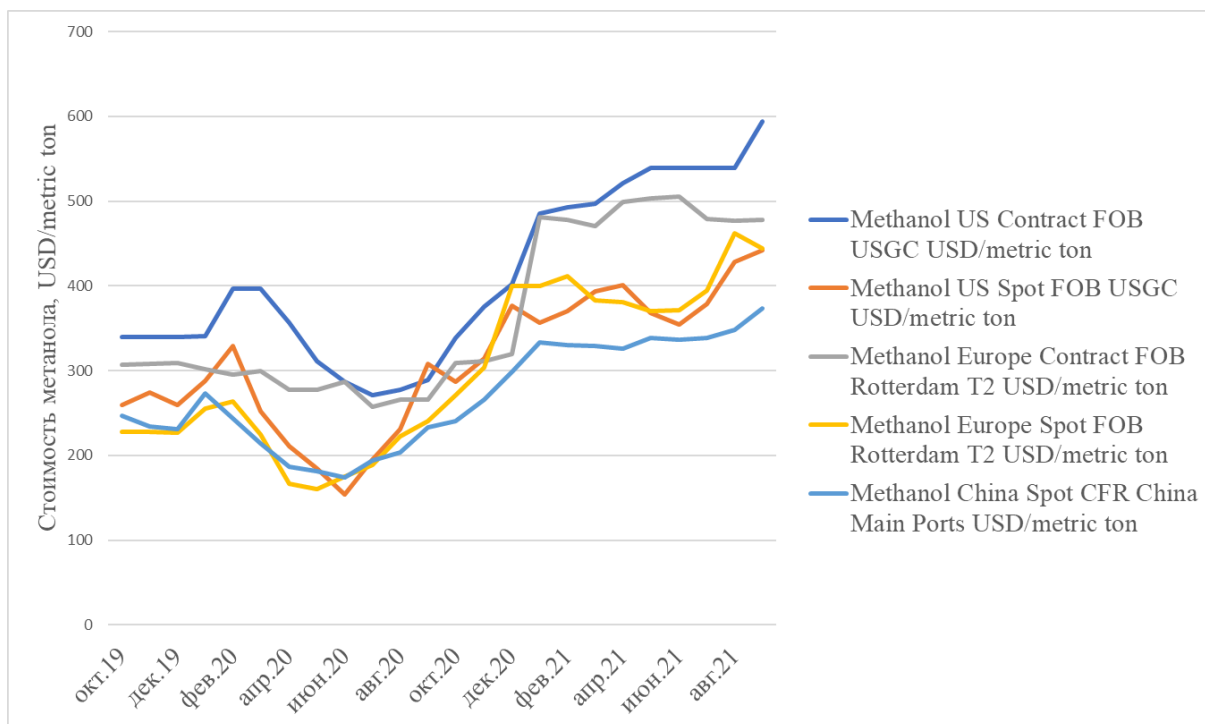


Рисунок 1. Прогнозная цена на метанол, используемая в проекте

Figure 1. Forecast methanol price used in the project

Еще в конце 2020 г. цены на метанол по всему миру стали увеличиваться вслед за ростом мировой экономики, что отразилось на внутрироссийской ситуации. Так, цены в 4-м квартале 2020 г. выросли до 410 USD/т [28]. В 2021 г. мировое потребление и цены на метанол полностью восстановились, а с учетом повышения стоимости энергоносителей, которое началось в конце лета 2021 г., котировки на метанол начали брать все новые высоты, 594 USD/т Contract FOB USGC по состоянию на сентябрь 2021 г. [27]. Аналитики прогнозируют постковидный рост мирового рынка метанола на уровне 4.5–5.5 %/год. [29]. В прогнозе на рисунке 2 использована начальная цена 350 USD/т с постепенным повышением на прогнозную целевую инфляцию в РФ с достижением уровня в 500 USD/т [30].

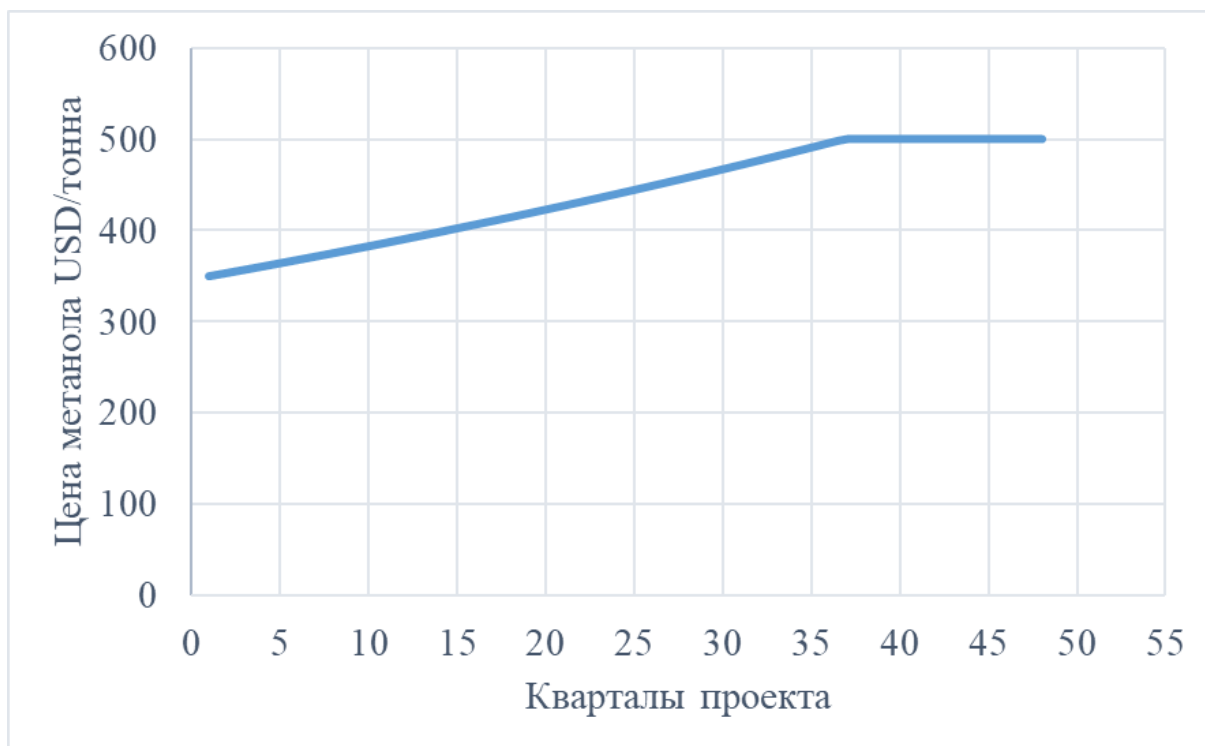


Рисунок 2. Прогнозная цена на метанол, используемая в проекте

Figure 2. Forecast methanol price used in the project

Важным фактором, способствующим интенсификации переработки попутных и низконапорных газов на месторождениях, является экологическое законодательство. В соответствии с [31, 32] штрафы в 2021 г. в среднем достигли 6 000 руб. за 1 000 м³ сожжённого попутного газа [33]. Для дальнейших расчетов принята стоимость штрафных санкций в размере 82 USD/1 000 м³ (или 5 962 руб. по курсу 73 руб./USD). В таблицах 3–5 приведены результаты расчетов денежных потоков рассматриваемых вариантов – доставки метанола традиционным способом (без проекта) и производства метанола в промышленных условиях (с проектом). Конечным положительным эффектом малотоннажного производства является экономия средств от эффективного использования попутного газа и дорогостоящей транспортировки метанола.

Таблица 3. Денежные потоки сравниваемых вариантов применения метанола, тыс. USD, мощность 5 000 т/год

Table 3. Money flows of compared methanol application variants, thousand USD, capacity 5 000 t/year

Без проекта по годам	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Итого	-5 051	-5 231	-5 419	-5 514	-5 609	-5 704	-5 798	-5 891	-5 984	-5 985	-5 860	-5 610
Покупка метанола	-1 776	-1 849	-1 924	-2 002	-2 083	-2 168	-2 256	-2 347	-2 442	-2 500	-2 500	-2 500
Доставка метанола	-2 665	-2 773	-2 885	-2 902	-2 916	-2 926	-2 932	-2 934	-2 931	-2 875	-2 750	-2 500
Штраф за сжигание газа	-610	-610	-610	-610	-610	-610	-610	-610	-610	-610	-610	-610
С проектом по годам	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Итого	-7 195	-7 282	-3 215	-3 353	-3 438	-3 532	-3 631	-3 810	-3 919	-4 033	-3 546	-3 672
Покупка метанола	-1 776	-1 849	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доставка метанола	-2 665	-2 773	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Штраф за сжигание газа	-610	-610	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Инвестиции	-2 104	-1 878	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Расходы производства	-39	-172	-2 800	-2 916	-2 979	-3 049	-3 124	-3 277	-3 359	-3 444	-3 546	-3 672
Выплата тела долга	0	0	-416	-437	-459	-482	-507	-533	-560	-588	0	0
Экономия от проекта	-2 143	-2 050	2 204	2 162	2 171	2 172	2 167	2 082	2 065	1 952	2 314	1 938

Таблица 4. Денежные потоки сравниваемых вариантов применения метанола, тыс. USD, мощность 10 000 т/год

Table 4. Money flows of compared methanol application variants, thousand USD, capacity 10 000 t/year

Без проекта по годам	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Итого	-10 102	-10 463	-10 838	-11 029	-11 218	-11 408	-11 596	-11 782	-11 967	-11 970	-11 720	-11 220
Покупка метанола	-3 553	-3 697	-3 847	-4 003	-4 166	-4 335	-4 511	-4 694	-4 885	-5 000	-5 000	-5 000
Доставка метанола	-5 329	-5 546	-5 771	-5 805	-5 832	-5 852	-5 865	-5 868	-5 862	-5 750	-5 500	-5 000
Штраф за сжигание газа	-1 220	-1 220	-1 220	-1 220	-1 220	-1 220	-1 220	-1 220	-1 220	-1 220	-1 220	-1 220
С проектом по годам	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Итого	-13 771	-14 385	-5 820	-6 066	-6 216	-6 377	-6 547	-6 862	-7 048	-7 242	-6 343	-6 556
Покупка метанола	-3 553	-3 697	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доставка метанола	-5 329	-5 546	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Штраф за сжигание газа	-1 220	-1 220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Инвестиции	-3 610	-3 631	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Расходы производства	-58	-291	-5 064	-5 272	-5 382	-5 500	-5 625	-5 893	-6 030	-6 172	-6 343	-6 556
Выплата тела долга	0	0	-756	-794	-835	-877	-922	-969	-1 018	-1 070	0	0
Экономия от проекта	-3 668	-3 922	5 018	4 963	5 002	5 030	5 049	4 920	4 919	4 728	5 378	4 664

Таблица 5. Денежные потоки сравниваемых вариантов применения метанола, тыс. USD, мощность 20 000 т/год

Table 5. Money flows of compared methanol application variants, thousand USD, capacity 20 000 t/year

Без проекта по годам	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Итого	-20 204	-20 926	-21 676	-22 057	-22 437	-22 815	-23 192	-23 565	-23 934	-23 940	-23 440	-22 440
Покупка метанола	-7 106	-7 394	-7 694	-8 007	-8 332	-8 670	-9 022	-9 389	-9 770	-10 000	-10 000	-10 000
Доставка метанола	-10 659	-11 091	-11 542	-11 610	-11 665	-11 705	-11 729	-11 736	-11 724	-11 500	-11 000	-10 000
Штраф за сжигание газа	-2 440	-2 440	-2 440	-2 440	-2 440	-2 440	-2 440	-2 440	-2 440	-2 440	-2 440	-2 440
С проектом по годам	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Итого	-26 989	-28 672	-11 068	-11 534	-11 813	-12 109	-12 420	-13 009	-13 349	-13 704	-11 957	-12 345
Покупка метанола	-7 106	-7 394	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Доставка метанола	-10 659	-11 091	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Штраф за сжигание газа	-2 440	-2 440	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Инвестиции	-6 688	-7 212	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Расходы производства и прочее	-97	-535	-9 618	-10 009	-10 211	-10 425	-10 650	-11 150	-11 394	-11 650	-11 957	-12 345
Выплата тела долга	0	0	-1 451	-1 525	-1 602	-1 684	-1 770	-1 860	-1 955	-2 054	0	0
Экономия от проекта	-6 785	-7 747	10 608	10 523	10 624	10 706	10 772	10 555	10 585	10 236	11 484	10 095

Во всех вариантах установки в 1–3 кварталы 1-го года проекта осуществляется проектирование. Основными пиками капитальных затрат являются 4-й квартал 1-го года и 3-й квартал 2-го года, в которые происходит закупка оборудования и его доставка (таблица 6).

Прямые материальные затраты для производства 1 т метанола: попутный газ – 1 494 м³, вода – 0.38 т, воздух – 6.67 т, за счет рекуперации электричества при инновационном малотоннажном производстве метанола удалось снизить потребление электричества до 719 кВт. Объемы потребления ресурсов на 1 т метанола при расширении производства не изменяются. Цены на сырье планомерно увеличиваются на прогнозную поквартальную ставку инфляции (долгосрочная годовая ставка инфляции МЭР – 4 %). В расчетах принята достаточно высокая начальная цена на попутный газ непосредственно в местах добычи в размере 150 USD/1000 м³, несмотря на то, что он зачастую просто сжигается на факелах. Начальная цена на электричество установлена исходя из анализа открытых источников по рыночным ставкам для Северного региона в размере 68 USD/1 000 кВт. Соответствующие графики приведены на рисунке 3.

Таблица 6. Поквартальные инвестиционные расходы на строительство вариантов установок, тыс. USD

Table 6. Quarterly investment costs for the construction of plant variants, thousand USD

Вариант 5000 т	1 квартал	2 квартал	3 квартал	4 квартал	5 квартал	6 квартал	7 квартал	8 квартал	Итого
Подготовка данных, проектирование	171	171	171						514
Блок синтез-газа				317			317		634
Воздушный компрессор				822			822		1 644
Газовый компрессор				274			274		548
Блок синтеза метанола				137			137		274
Доставка и пусконаладка						31	62	62	155
Прочие расходы	4	4	7	26	27	27	49	70	213
Итого по кварталам	175	175	178	1 576	27	58	1 661	132	3 982
Вариант 10000 т	1 квартал	2 квартал	3 квартал	4 квартал	5 квартал	6 квартал	7 квартал	8 квартал	Итого
Подготовка данных, проектирование	171	171	171						514
Блок синтез-газа				571			571		1 142
Воздушный компрессор				1 644			1 644		3 288
Газовый компрессор				548			548		1 096
Блок синтеза метанола				274			274		548
Доставка и пусконаладка						61	121	121	304
Прочие расходы	4	4	7	45	45	47	88	111	350
Итого по кварталам	175	175	178	3 082	45	108	3 246	232	7 241
Вариант 20000 т	1 квартал	2 квартал	3 квартал	4 квартал	5 квартал	6 квартал	7 квартал	8 квартал	Итого
Подготовка данных, проектирование	171	171	171						514
Блок синтез-газа				1 142			1 142		2 284
Воздушный компрессор				3 288			3 288		6 575
Газовый компрессор				1 096			1 096		2 192
Блок синтеза метанола				548			548		1 096
Доставка и пусконаладка						121	243	243	607
Прочие расходы	4	4	7	87	85	84	169	194	632
Итого по кварталам	175	175	178	6 160	85	205	6 485	437	13 900

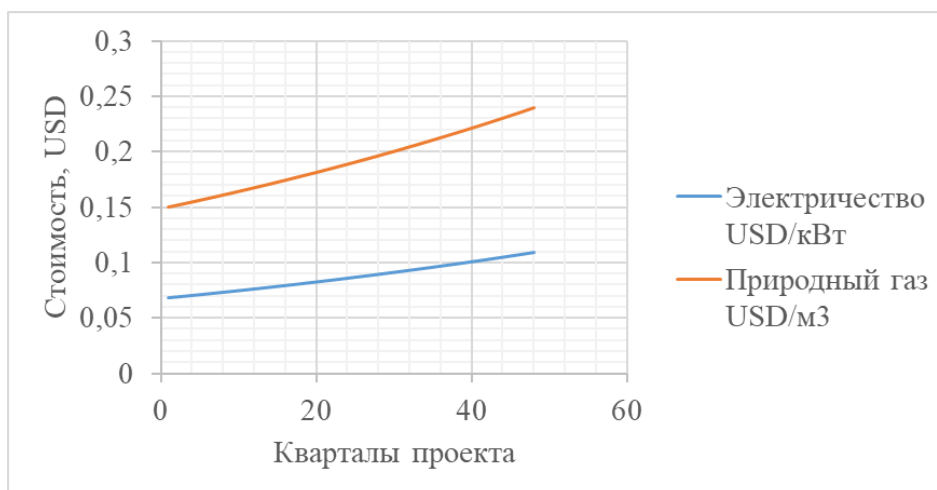


Рисунок 3. Прогнозные цены на природный газ и электричество, используемые в проекте

Figure 3. Forecast prices for natural gas and electricity used in the project

Фонд оплаты труда состоит из затрат на производственный персонал – таблица 7. Принимаем, что весь персонал нанимается в первый месяц работы проекта и при увеличении производства штат не расширяется. Производственный персонал состоит из начальника смены-оператора (4 человека), оператора (4 человека), электрика (4 человека), лаборанта (1 человек).

Таблица 7. Штатное расписание

Table 7. Staffing

USD	Количество, чел.	ФОТ без налогов/мес. на 1 сотр.	ФОТ с налогами/мес. на 1 сотр.	Итого ФОТ на сотрудников:
Штат всего:	16			33 629
Производственный итого	13			26 903
Начальник смены - оператор	4	1 700	2 433	9 731
Оператор	4	1 300	1 860	7 441
Электрик	4	1 400	2 003	8 014
Лаборант	1	1 200	1 717	1 717

Для амортизации выбран линейный способ. Начисление амортизации производится в квартале, следующем за вводом оборудования в эксплуатацию. Затраты на проектирование, доставку и пусконаладку для

расчета амортизации распределены равномерно между производственным оборудованием. Сроки амортизации во всех вариантах модели одинаковые: блок синтез-газа – 40 кварталов, блок синтеза метанола – 40 кварталов, воздушный компрессор – 40 кварталов, газовый компрессор – 40 кварталов.

В модели учитываются иные затраты на ведение деятельности (во всех 3-х вариантах одинаковые уровни), а именно: расходы на ремонт и прочие расходы. Расходы на ремонт установлены методом экспертных оценок (в процессе переговоров с производителями оборудования) и составляют: с 1 по 10 квартал: 0 %; с 11 по 28 квартал: 0.75 %; с 28 по 48 квартал: 1.25 %. Прочие расходы привязаны к выручке и составляют 1.25 % от выручки.

Финансирование проекта осуществляется за счет кредитной линии, планомерно покрывающей необходимость в денежных средствах для реализации проекта. Тело долга по плану начинает выплачиваться в 1-м квартале после запуска производства аннуитетными платежами. Отсрочка по телу долга – 8 кварталов, срок кредита – 10 лет, валюта кредита – доллары США. Процентные платежи выплачиваются сразу же, процентная ставка – 5 %. Графики остатков тела долга приведены на рисунке 4.

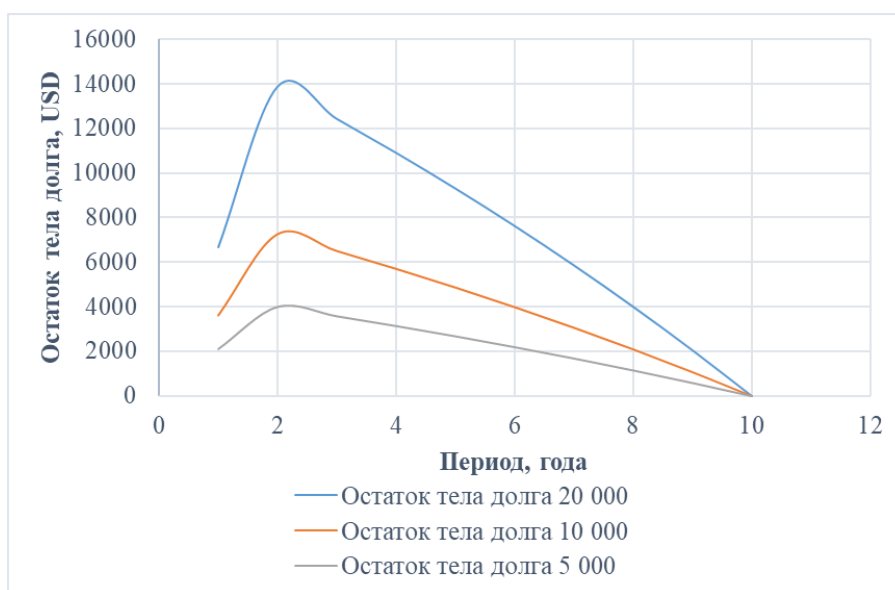


Рисунок 4. Остаток тела долга при 100 % долговом финансировании проекта

Figure 4. Balance of the body of debt with 100 % debt financing of the project

В модели приняты стандартные налоговые уровни, установленные в Российской Федерации, кроме НДС, который не учитывается в прогнозе (для упрощения расчета).

Для расчета оборотного капитала были проанализированы компании-конкуренты производители метанола. Для всех вариантов производства отношения оборотного капитала одинаковы. В модели приняты уровни: кредиторская задолженность – 18 %; запасы – 5 %; материалы – 12.5 %.

Сегодня в мире малотоннажными установками для переработки газа в основном занимаются компании из США и Европы. Как видно из таблицы 8, для получения максимальной экономии затрат газа предлагаются установки с высоким минимальным объемом производства (Primus Green Energy, Meoh-To-Go), что сужает возможности их применения.

Таблица 8. Сравнительный анализ компаний, предлагающих решения по переработке попутного газа

Table 8. Comparative analysis of companies offering associated gas processing solutions

Наименование	Страна	Продукция	Технология	Газ на 1 т метанола	Минимальный объем производства	Тип
Технология ООО «ВТР»	Россия	Метанол	Гомогенное некаталитическое парциальное окисление	1494 м ³	2 500 т/год	Стационарный, контейнерный
Primus Green Energy	США	Метанол/бензин	Паровой реформинг	1033 м ³	60 000 т/год	Частично стационарный
Метапроцесс (Новатэк)	Россия	Метанол	Паровой реформинг	1700 м ³	12 500 т/год	Стационарный
Gas Techno Energy & Fuels USA	США	Метанол, этанол, формалин	Одноступенчатое парциальное окисление	1600 м ³	2 000 т/год	Стационарный, контейнерный
Meoh-To-Go (Haldor Topsoe, MPS)	Дания	Метанол	Паровой реформинг	960 куб.м3	110 000 т/год	Стационарный

Выводы

Определяющим фактором при выборе производительности комплекса в первую очередь является потребность предприятий в метаноле на

отдаленных месторождениях. Сегодня такая потребность варьируется в диапазоне от 5 000 до 20 000 т/год. Создание малотоннажных комплексов в отдаленных месторождениях возможно на базе газогенераторов синтез-газа некаталитического парциального окисления. ГСГ облают на порядок меньшими массогабаритными характеристиками по сравнению с существующими традиционными реакторами парового риформинга, за счет чего возможно создание транспортабельных, мобильных комплексов. Существующие крупнотоннажные производства, базирующиеся на процессе автотермического риформинга, не масштабируемы, а рентабельность производств начинается при производительности более 1 млн т/год. В традиционных комплексах до 70 % от всех капитальных затрат уходит на основной узел – блок производства синтез-газа, поэтому предлагаемое технологическое решение является золотой серединой для переработки попутного газа. При принятии решения о создании комплекса наиболее важным параметром является коммерчески окупаемый минимальный объем производства, так как на некоторых месторождениях нет потребности в производстве метанола в больших объемах. Так, например, компания Gas Techno (США) также обеспечивает минимальный объем производства в 2 000 т продукции, технологическая цепочка требует производства сразу трех продуктов одновременно (метанола, этанола, формалина), на которые может отсутствовать спрос на месте. Одним из главных преимуществ предлагаемой технологии является низкий показатель CAPEX, который составляет порядка 700 USD на 1 т годовой производственной мощности. В свою очередь у большинства компаний конкурентов более 1 000 USD на 1 т годовой производственной мощности, следовательно, при прочих равных условиях срок окупаемости увеличивается. Все установки с использованием парового риформинга используют большое количество электроэнергии на процесс в связи с реализуемым типом технологии. Объем потребления газа на 1 т метанола является не критическим показателем, так как все данные технологии могут

использовать попутный газ, который зачастую просто сжигается на факелах. Еще одним существенным преимуществом технологии является отсутствие использования дорогостоящих катализаторов, которые помимо существенного увеличения массогабаритных параметров комплекса, технологических ограничений, требуют их замены, обслуживания и останова комплекса для проведения регламентных работ.

Список источников

1. Арутюнов В.С., Голубева И.А., Елисеев О.Л., Жагфаров Ф.Г. Технология переработки углеводородных газов. М.: Юрайт, 2020. 723 с.
2. Брагинский О.Б. Нефтегазовый комплекс мира. М.: «Нефть и газ» РГУ нефти и газа и им. И.М. Губкина, 2006. 640 с.
3. Фейгин В.И., Брагинский О.Б., Заболотский С.А. Исследование состояния и перспектив направлений переработки нефти и газа, нефте- и газохимии в РФ. М.: Экон-Информ, 2011. 806 с.
4. Syngas: Production, Application and Environmental Impact / Edited by A. Indarto, J. Palguandi. New York: Nova Science Publishers, 2013. 365 p.
5. Лачугин И.Г, Шевцов А.П., Маринченко А.Г. GTL-производство. Основы и перспективы. Обзор // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2011. № 2. С. 27-36.
6. Малотоннажные GTL-установки // NEWCHEMISTRY.ru. URL: http://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=6615 (дата обращения: 17.01.2022).
7. Производство синтетических жидких топлив (СЖТ). Техно-инвестиционные показатели установок и перспективные направления развития на мировом рынке станций. Отчет-справочник. СПб.: Прима-Химмаш, 2017. Вып. 2. 202 с.
8. Арутюнов В.С., Савченко В.И., Седов И.В. О перспективах промышленных газохимических технологий на основе азотсодержащего синтез-газа // НефтеГазоХимия. 2016. № 4. С. 15-23.

9. Арутюнов В.С., Стрекова Л.Н., Савченко В.И. Перспективы конверсии углеводородных газов в жидкие продукты на основе азотсодержащего синтез-газа (обзор) // Нефтехимия. 2019. Т. 59, № 3. С. 246-255. DOI: 10.1134/S002824211903002X.

10. Лapidус А.Л., Елисеев О.Л., Крючков М.В. Получение углеводородов из синтез-газа, забалластированного азотом // Технология нефти и газа. 2011. № 5 (76). С. 9-11.

11. Лищинер И.И., Малова О.В., Тарасов А.Л. Получение метанола из забалластированного азотом синтез-газа // Катализ в промышленности. 2010. № 4. С. 50-55.

12. Piven V., Zagashvili I., Kuzmin A. Natural Gas Emissions Capture on Site by Small-Sized Noncatalytic Converter of Methane to Syngas-Methanol that Emulates Liquid Rocket Engine // Petrochemical Engineering: Materials of 2 International Conference. Kuala Lumpur, Malaysia. 2018. P. 32.

13. Мордкович В.З., Синева Л.В., Кульчаковская Е.В. Четыре поколения технологии получения синтетического жидкого топлива на основе синтеза Фишера-Тропша. Исторический обзор // Катализ в промышленности. 2015. № 5. С. 23-45. DOI: 10.18412/1816-0387-2015-5-23-45.

14. Бухгалтер Э.Б. Метанол и его использование в газовой промышленности. М.: Недра, 1986. 237 с.

15. Гриценко А.И., Истомин В.А., Кульков А.Н., Сулейменов Р.С. Сбор и промысловая подготовка газа на северных месторождениях России. М.: Недра, 1999. 472 с.

16. Грунвальд А.В. Использование метанола в газовой промышленности в качестве ингибитора гидратообразования и прогноз его потребления в период до 2030 г. // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2007. № 2. С. 29. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Grunvald/Grunvald_1.pdf (дата обращения: 17.01.2022).

17. Кемалов Р.А., Кемалов А.Ф. Технологии получения и применения метанола. Казань: Казан. ун-т., 2016. 167 с.

18. Лищинер И.И., Малова О.В., Толчинский Л.С. Модульные энерготехнологические установки Энергосинтоп // Газохимия: состояние и пути развития в XXI веке: тр. Московского Семинара по газохимии 2012-2013 гг. / Под ред. А.И. Владимирова и А.Л. Лapidуса. М.: Изд. центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2014. 140 с.

19. Черепнова А.В., Лендер А.А, Краснянская А.Г., Бондарева Н.А. Синтез метанола в системе проточных реакторов // Катализ и нефтехимия. 2000. № 5-6. С. 69-74.

20. Загашвили Ю.В., Ефремов В.Н., Кузьмин А.М. Комплекс получения синтез-газа для малотоннажного производства метанола // НефтеГазоХимия. 2017. № 1. С. 19-26.

21. Пат. на полезную модель 183172 РФ, МПК В 01 J 19/00. Малотоннажная установка получения метанола / Ю.В. Загашвили, В.Н. Ефремов, А.М. Кузьмин. 2018116989, Заявлено 07.05.2018; Оpubл. 12.09.2018. Бюл. 26.

22. Пат. на полезную модель 183401 РФ, МПК С 01 В 3/02. Установка получения синтез-газа для малотоннажного производства метанола / Ю.В. Загашвили, А.М. Кузьмин. 2018115268, Заявлено 25.04.2018; Оpubл. 21.09.2018. Бюл. 27.

23. Загашвили Ю.В., Кузьмин А.М. Влияние состава водородсодержащего газа на выход метанола // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331, № 10. С. 187-195. DOI: 10.18799/24131830/2020/10/2871.

24. Майерс С., Брейли Р. Принципы корпоративных финансов. М.: Олимп-Бизнес, 2016. 1008 с.

25. Baker H.K., English P. Capital Budgeting Valuation: Financial Analysis for Today's Investment Projects. Hoboken: Wiley, 2011. 528 p. URL: <https://www.wiley.com/en-pe/Capital+Budgeting+Valuation:+Financial+Analysis+for+Today%27s+Investment+Projects-p-9780470569504> (дата обращения: 17.01.2022).

26. Долинский С.Э. Установки по производству метанола за полярным кругом интеграция и компактность – залог наивысшей эффективности // Газохимия. 2009. № 8. С. 14-26.

27. Methanol Price and Supply/Demand // Methanol Institute. URL: <https://www.methanol.org/methanol-price-supply-demand> (дата обращения: 17.01.2022).

28. Цены на метанол идут вверх // Коммерсантъ. 17.12.2020. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4616868> (дата обращения: 18.01.2022).

29. The Worldwide Methanol Industry is Projected to Reach \$26.7 Billion by 2025 – ResearchAndMarkets.com // Businesswire. URL: <https://www.businesswire.com/news/home/20210112005480/en/The-Worldwide-Methanol-Industry-is-Projected-to-Rreach-26.7-Billion-by-2025---ResearchAndMarkets.com> (дата обращения: 18.01.2022).

30. Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на 2021 год на плановый период 2022 и 2023 годов // Министерство экономического развития РФ. URL: https://www.economy.gov.ru/material/directions/makroec/prognozy_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya/prognoz_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya_rf_na_2021_god_i_na_planovyy_period_2022_i_2023_godov.html (дата обращения: 19.01.2022).

31. Постановление Правительства РФ от 8 ноября 2012 года № 1148 «Об особенностях исчисления платы за негативное воздействие на окружающую среду при выбросах в атмосферный воздух загрязняющих веществ, образующихся при сжигании на факельных установках и (или) рассеивании попутного нефтяного газа» // Информационно-правовое обеспечение «Гарант». URL: <https://base.garant.ru/70257422/> (дата обращения: 20.01.2022).

32. Постановление Правительства РФ от 17 декабря 2016 года № 1381 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 8 ноября 2012 года № 1148» // Информационно-правовое обеспечение «Гарант». URL: <https://base.garant.ru/71570860/> (дата обращения: 20.01.2022).

33. Шестиперстов Л.Ф. Расчет штрафов за сжигание попутного нефтяного газа и оценка целесообразности его утилизации // Energybase. 2020. URL: <https://energybase.ru/news/articles/calculation-of-fines-for-burning-associated-petroleum-gas-2020-04-16> (дата обращения: 20.01.2022).

References

1. Arutyunov V.S., Golubeva I.A., Eliseev O.L., Zhagfarov F.G. *Tekhnologiya pererabotki uglevodorodnykh gazov* [Hydrocarbon Gas Processing Technology]. Moscow, Yurait Publ., 2020. 723 p. [in Russian].
2. Braginskii O.B. *Neftegazovyi kompleks mira* [Oil and Gas Complex of the World]. Moscow, «Neft' i gaz» RGU nefti i gaza i im. I.M. Gubkina Publ., 2006. 640 p. [in Russian].
3. Feigin V.I., Braginskii O.B., Zabolotskii S.A. *Issledovanie sostoyaniya i perspektiv napravlenii pererabotki nefti i gaza, nefte- i gazokhimii v RF* [Study of the State and Prospects of Oil and Gas Processing, Oil and Gas Chemistry in the Russian Federation]. Moscow, Ekon-Inform Publ., 2011. 806 p. [in Russian].
4. *Syngas: Production, Application and Environmental Impact*. Ed. by A. Indarto, J. Palguandi. New York, Nova Science Publishers, 2013. 365 p.
5. Lachugin I.G, Shevtsov A.P., Marinchenko A.G. GTL-proizvodstvo. Osnovy i perspektivy. Obzor [GTL-Process: Principles and Perspectives]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 2011, No. 2, pp. 27-36. [in Russian].
6. Malotonnazhnye GTL-ustanovki [Small-Tonnage GTL Plants]. *NEWCHEMISTRY.ru*. Available at: http://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=6615 (accessed 17.01.2022). [in Russian].

7. *Proizvodstvo sinteticheskikh zhidkikh topliv (SZhT). Tekhniko-investitsionnye pokazateli ustanovok i perspektivnye napravleniya razvitiya na mirovom rynke stantsii. Otchet-spravochnik* [Production of Synthetic Liquid Fuels (SLF). Techno-Investment Indicators of Installations and Perspective Directions of Development in the World Market of Stations. Reference Report]. St. Petersburg, Prima-Khim mash Publ., 2017. Issue 2. 202 p. [in Russian].

8. Arutyunov V.S., Savchenko V.I., Sedov I.V. O perspektivakh promyslovykh gazokhimicheskikh tekhnologii na osnove azotsoderzhashchego sintez-gaza [Prospects of Field Gas Chemical Technologies Using Nitrogen-Diluted Syngas]. *NefteGazoKhimiya – Oil and Gas Chemistry*, 2016, No. 4, pp. 15-23. [in Russian].

9. Arutyunov V.S., Strekova L.N., Savchenko V.I. Perspektivy konversii uglevodorodnykh gazov v zhidkie produkty na osnove azotsoderzhashchego sintez-gaza (obzor) [Prospects of Conversion of Hydrocarbon Gases to Liquid Products Based on Nitrogen-Rich Synthesis Gas (Review)]. *Neftekhimiya – Neftekhimiya*, 2019, Vol. 59, No. 3, pp. 246-255. DOI: 10.1134/S002824211903002X. [in Russian].

10. Lapidus A.L., Eliseev O.L., Kryuchkov M.V. Poluchenie uglevodorodov iz sintez-gaza, zaballastirovannogo azotom [Hydrocarbons Production from Synthesis Gas, Ballasted with Nitrogen]. *Tekhnologiya nefti i gaza – Oil and Gas Technologies*, 2011, No. 5 (76), pp. 9-11. [in Russian].

11. Lishchiner I.I., Malova O.V., Tarasov A.L. Poluchenie metanola iz zaballastirovannogo azotom sintez-gaza [Synthesizing Methanol from Nitrogen-Ballasted Syngas]. *Kataliz v promyshlennosti – Catalysis in Industry*, 2010, No. 4, pp. 50-55. [in Russian].

12. Piven V., Zagashvili I., Kuzmin A. Natural Gas Emissions Capture on Site by Small-Sized Noncatalytic Converter of Methane to Syngas-Methanol that Emulates Liquid Rocket Engine. *Materials of 2 International Conference «Petrochemical Engineering»*. Kuala Lumpur, Malaysia. 2018. P. 32.

13. Mordkovich V.Z., Sineva L.V., Kul'chakovskaya E.V. Chetyre pokoleniya tekhnologii polucheniya sinteticheskogo zhidkogo topliva na osnove sinteza Fishera-Tropsha. Istoricheskii obzor [Four Generations of Technology for the Production of Synthetic Liquid Fuels Based on the Fischer-Tropsch Synthesis. Historical Overview]. *Kataliz v promyshlennosti – Catalysis in Industry*, 2015, No. 5, pp. 23-45. DOI: 10.18412/1816-0387-2015-5-23-45. [in Russian].

14. Bukhgalter E.B. *Metanol i ego ispol'zovanie v gazovoi promyshlennosti* [Methanol and its Use in the Gas Industry]. Moscow, Nedra Publ., 1986. 237 p. [in Russian].

15. Gritsenko A.I., Istomin V.A., Kulkov A.N., Suleimenov R.S. *Sbor i promyslovaya podgotovka gaza na severnykh mestorozhdeniyakh Rossii* [Gathering and Conditioning of Gas on the Northern Gas Fields of Russia]. Moscow, Nedra Publ., 1999. 472 p. [in Russian].

16. Grunvald A.V. Ispol'zovanie metanola v gazovoi promyshlennosti v kachestve ingibitora gidratoobrazovaniya i prognoz ego potrebleniya v period do 2030 g. [The Use of Methanol in the Gas Industry as an Inhibitor of Hydrate Formation and the Forecast of its Consumption in the Period up to 2030]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» – Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2007, No. 2, pp 29. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Grunvald/Grunvald_1.pdf (accessed 17.01.2022). [in Russian].

17. Kemalov R.A., Kemalov A.F. *Tekhnologii polucheniya i primeneniya metanola* [Technologies for the Production and Use of Methanol]. Kazan, Kazan. un-t. Publ., 2016. 167 p. [in Russian].

18. Lishchiner I.I., Malova O.V., Tolchinskii L.S. Modul'nye energotekhnologicheskie ustanovki Energosintop [Modular Energy Technology Installations Energosyntop]. *Trudy Moskovskogo Seminara po gazokhimii 2012-2013 gg. «Gazokhimiya: sostoyanie i puti razvitiya v XXI veke»* [Proceedings of the Moscow Seminar on Gas Chemistry 2012-2013 «Gas Chemistry: Status and Ways of Development in the 21st Century»] Ed. by A.I. Vladimirova i A.L. Lapidusa. Moscow, Izd. tsentr RGU нефти i gaza imeni I.M. Gubkina Publ., 2014, 140 p. [in Russian].

19. Cherepnova A.V., Lender A.A., Krasnyanskaya A.G., Bondareva N.A. Sintez metanola v sisteme protochnykh reaktorov [Synthesis of Methanol in a System of Flow Reactors]. *Kataliz i neftekhimiya – Catalysis and Petrochemistry*, 2000, No. 5-6, pp. 69-74. [in Russian].

20. Zagashvili Yu.V., Efremov V.N., Kuzmin A.M. Kompleks polucheniya sintez-gaza dlya malotonnazhnogo proizvodstva metanola [Complex for Obtaining Synthesis-Gas for Smalltonnage Production of Methanol]. *NefteGazoKhimiya – Oil and Gas Chemistry*, 2017, No. 1, pp. 19-26. [in Russian].

21. Zagashvili Yu.V., Efremov V.N., Kuzmin A.M. *Malotonnazhnaya ustanovka polucheniya metanola* [Small-Tonnage Methanol Production Unit]. Utility Model Patent RF, No. 183172, 2018. [in Russian].

22. Zagashvili Yu.V., Kuzmin A.M. *Ustanovka polucheniya sintez-gaza dlya malotonnazhnogo proizvodstva metanola* [Syngas Production Unit for Small-Scale Methanol Production]. Utility Model Patent RF, No. 183401, 2018. [in Russian].

23. Zagashvili Yu.V., Kuzmin A.M. Vliyanie sostava vodorodsoderzhashchego gaza na vykhod metanola [Influence of Hydrogen-Containing Gas Composition on Methanol Yield]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2020, Vol. 331, No. 10, pp. 187-195. DOI: 10.18799/24131830/2020/10/2871. [in Russian].

24. Maiers S., Breili R. *Printsipy korporativnykh finansov* [Principles of Corporate Finance]. Moscow, Olimp-Biznes Publ., 2016. 1008 p. [in Russian].

25. Baker H.K., English P. *Capital Budgeting Valuation: Financial Analysis for Today's Investment Projects*. Hoboken, Wiley, 2011. 528 p. Available at: <https://www.wiley.com/en-pe/Capital+Budgeting+Valuation:+Financial+Analysis+for+Today%27s+Investment+Projects-p-9780470569504> (accessed 17.01.2022).

26. Dolinskii S.E. Ustanovki po proizvodstvu metanola za polyarnym krugom integratsiya i kompaktnost' – zalog naivyssshei effektivnosti [Methanol Production

Plants in the Arctic Circle Integration and Compactness for the Highest Efficiency]. *Gazokhimiya – Gas Chemistry*, 2009, No. 8, pp. 14-26. [in Russian].

27. Methanol Price and Supply/Demand. *Methanol Institute*. Available at: <https://www.methanol.org/methanol-price-supply-demand> (accessed 17.01.2022).

28. Tseny na metanol idut vverkh [Methanol Prices are Going Up]. *Kommersant*". 17.12.2020. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/4616868> (accessed 18.01.2022). [in Russian].

29. The Worldwide Methanol Industry is Projected to Reach \$26.7 Billion by 2025 – ResearchAndMarkets.com. *Businesswire*. Available at: <https://www.businesswire.com/news/home/20210112005480/en/The-Worldwide-Methanol-Industry-is-Projected-to-Rreach-26.7-Billion-by-2025---ResearchAndMarkets.com> (accessed 18.01.2022).

30. Prognoz sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiiskoi Federatsii na 2021 god na planovyi period 2022 i 2023 godov [Forecast of the Socio-Economic Development of the Russian Federation for 2021 for The Planned Period of 2022 and 2023]. *Ministerstvo ekonomicheskogo razvitiya RF*. Available at: https://www.economy.gov.ru/material/directions/makroec/prognozy_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya/prognoz_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya_rf_na_2021_god_i_na_planovyy_period_2022_i_2023_godov.html (accessed 19.01.2022). [in Russian].

31. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 8 noyabrya 2012 goda № 1148 «Ob osobennostyakh ischisleniya platy za negativnoe vozdeistvie na okruzhayushchuyu sredu pri vybrosakh v atmosferyni vozdukh zagryaznyayushchikh veshchestv, obrazuyushchikhsya pri szhiganii na fakel'nykh ustanovkakh i (ili) rasseivanii poputnogo neftyanogo gaza»* [Decree of the Government of the Russian Federation of November 8, 2012 No. 1148 «On the Specifics of Calculating Fees for the Negative Impact on the Environment in Case of Emissions into the Atmospheric Air of Pollutants Generated During Flaring and (or) Dispersion of Associated Petroleum

Gas»]. Informatsionno-pravovoe obespechenie «Garant». Available at: <https://base.garant.ru/70257422/> (accessed 20.01.2022). [in Russian].

32. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 17 dekabrya 2016 goda № 1381 «O vnesenii izmenenii v postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 8 noyabrya 2012 goda № 1148»* [Decree of the Government of the Russian Federation of December 17, 2016 No. 1381 «On Amendments to the Decree of the Government of the Russian Federation of November 8, 2012 No. 1148»]. Informatsionno-pravovoe obespechenie «Garant». Available at: <https://base.garant.ru/71570860/> (accessed 20.01.2022). [in Russian].

33. Shestiperstov L.F. Raschet shtrafov za szhiganie poputnogo neftyanogo gaza i otsenka tselesoobraznosti ego utilizatsii [Calculation of Fines for Burning Associated Petroleum Gas and Assessing the Feasibility of its Disposal]. *Energybase*. 2020. Available at: <https://energybase.ru/news/articles/calculation-of-fines-for-burning-associated-petroleum-gas-2020-04-16> (accessed 20.01.2022). [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Кузьмин Алексей Михайлович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, советник РАЕН, генеральный директор ООО «ГСТГ», Санкт-Петербург, Россия

Aleksey M. Kuzmin, Candidate of Engineering Sciences, Associated Professor, Assistant Professor of Aircraft Engines and Power Plants Department, Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D. F. Ustinov, Council of the Russian Academy of Natural Sciences, General Director LLC «GSG», Saint-Petersburg, Russia

e-mail: kuzmin.lex@gmail.com

Улманис Антон Александрович, магистр финансов ФК «Уралсиб»,
руководитель инвестиционных проектов

Anton A. Ulmanis, Master of Finance, Investment Manager FC Uralsib

Ценева София Николаевна, аспирант кафедры «Двигатели и
энергоустановки летательных аппаратов», Балтийский государственный
технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, Санкт-
Петербург, Россия

Sofia N. Tceneva, Postgraduate Student of Aircraft Engines and Power Plants
Department, Baltic State Technical University «VOENMEH» named after
D. F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russia

e-mail: tceneva.sn@gmail.com

Буслаев Георгий Викторович, канд. техн. наук, доцент, руководитель
научного направления Научного центра «Арктика», Санкт-Петербургский
горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Georgy V. Buslaev, Candidate of Engineering Sciences, Associated
Professor, Supervisor of the Scientific Direction, Scientific Center «Arctic»,
Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia

e-mail: Buslaev_GV@pers.spmi.ru

Морин Алексей Александрович, руководитель научного направления
Научного центра «Арктика», Санкт-Петербургский горный университет,
Санкт-Петербург, Россия

Aleksey A. Morin, Supervisor of the Scientific Direction, Scientific Center
«Arctic», Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia

e-mail: Morin_AA@pers.spmi.ru