

УДК 621.593

С.А. КикевичООО «Премнум Инжиниринг». ул. Автозаводская, 21/1, г. Москва, РФ, 115280
e-mail: skikevich@premen.ru

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ МАЛОТОННАЖНЫХ ПРОЕКТОВ СПГ

В России наблюдается рост интереса к созданию малотоннажных СПГ-установок. Объясняется это появлением новых направлений использования сжиженного природного газа (СПГ). Рассмотрены особенности и состояние рынка СПГ в России, выполнен анализ схем малотоннажных СПГ-установок. Основное внимание уделено стоимостному инжинирингу, который должен проводиться для оценки бюджета проекта строительства СПГ-комплекса. Технология бюджетных оценок регламентируется международной ассоциацией развития стоимостного инжиниринга (AACE). Указаны основные этапы последовательного уточнения бюджетных оценок проекта. На основе опыта разработки бюджетов создания малотоннажных СПГ-установок с производительностью 1...20 т/ч приводится распределение капитальных затрат по категориям расходов на основное оборудование.

Ключевые слова: Сжиженный природный газ (СПГ). Схемы малотоннажных СПГ-установок. Бюджет проекта. Капитальные затраты. Оценка бюджета. Рыночная стоимость СПГ.

S.A. Kikevich

FEATURES OF PROJECT IMPLEMENTATION SMALL TONNAGE LNG-PLANTS

In Russia, there is growing interest in creation of small tonnage LNG plants. This is explained by the emergence of new directions of using liquefied natural gas (LNG). The features and condition of the LNG market in Russia are considered, the analysis of small tonnage LNG plants schemes are made. Main attention is paid cost engineering to be conducted to evaluate the project's budget of LNG complex building. Technology of budget estimates is regulated by Association for the advancement of cost engineering (AACE). There shows the main stages the dual simplex budget estimates of the project. Based on experience in developing budgets to create small tonnage LNG plant with a capacity of 1 ... 20 t/h the distribution of capital expenses by category of expenditure on capital equipment is given.

Keywords: Liquefied natural gas (LNG). Schemes of small tonnage LNG plants. The budget of the project. Capital expenses. Evaluation of the budget. The market value of LNG.

1. ВВЕДЕНИЕ

На мировом рынке энергоносителей год за годом наблюдается значительное увеличение потребления природного газа (ПГ). Во многих случаях происходит замещение газом других видов топлива. Цены на нефтепродукты показывают устойчивый рост, качество добываемой нефти падает, а условия ее добычи с каждым годом становятся все сложнее. На этом фоне более стабильным является уровень газовых цен. В отдельных случаях тенденция к снижению цен делает этот продукт все более доступным для потребителей (рис. 1) [1].

Заметное понижение цен в Северной Америке, как видно из рис. 1, вызвано прежде всего увеличением добычи сланцевого газа. Обсуждение дальнейших сценариев и возможностей применения технологий по

добыче сланцевого газа в других регионах привлекает внимание многих специалистов. И хотя их прогнозы разнятся, ясным становится одно — США уже в ближайшие годы может превратиться из крупнейшего импортера природного газа в одного из основных игроков среди «экспортного клуба».

Другой очевидный вывод, который также иллюстрируется рис. 1, — существенная диспропорция цен в различных регионах мира. По ценам на газ лидирует Япония, чей отказ от ядерной энергетики заставляет ее приобретать все большее количество природного газа. Второе место занимает Европа, а замыкают список США и Россия с наиболее низкими внутренними ценами на газ. С учётом постоянного роста спроса на газ ситуация делает все более привлекательным бизнес по поставкам газа из одного региона в другой. При этом единственным универсальным средством, позво-

ляющим вести межконтинентальную торговлю, является перевозка газа в сжиженном состоянии. Более того, такой способ доставки с каждым годом составляет все большую конкуренцию традиционным газопроводам (рис. 2) [2].

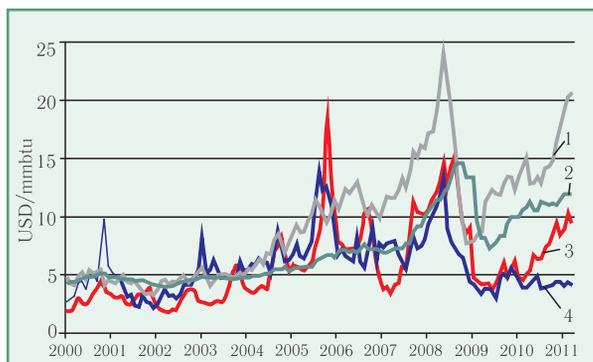


Рис. 1. Характер изменения во времени мировых цен на нефть и газ в долл. США на млн. Btu:
1 — цена на нефть марки Brent;
2 — цена на ПГ в Японии; 3 — спотовая цена на ПГ в Великобритании; 4 — спотовая цена на ПГ в США

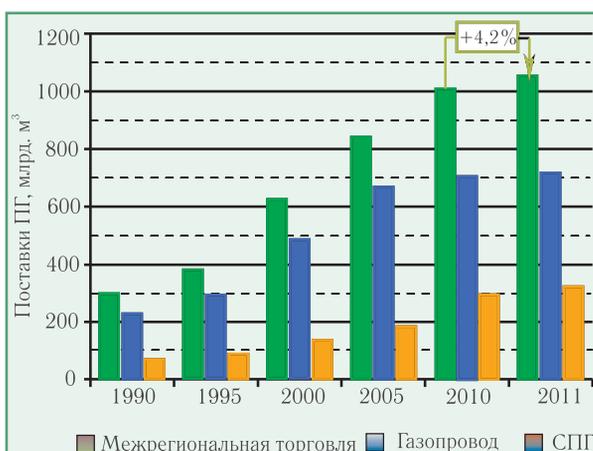


Рис. 2. Сравнение объёмов поставок ПГ в виде СПГ или трубопроводного сжатого газа в общем балансе межрегиональной торговли

При этом, по прогнозам корпорации «Шелл», уже в ближайшее десятилетие спрос на сжиженный природный газ (СПГ) удвоится [3]. Общее мировое потребление СПГ удаленными объектами на суше к 2025 г. оценивается в 5-10 МТРА (здесь и далее — миллионы тонн в год). Использование СПГ в качестве топлива наземным транспортом — более 10, морским — 30 МТРА [4].

2. ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ ПОСТАВОК СПГ

В ходе прошедших 10-15 лет поставщики СПГ были озабочены строительством крупных комплексов по ожижению газа мощностью от 2 МТРА и более. Решались задачи по удовлетворению спроса потребителей регионального уровня посредством поставок газа с наиболее обширных и рентабельных месторож-

дений. В ходе последних нескольких лет тенденции развития отрасли СПГ заметно изменились. Появились новые рынки и новые потребители топлива, требующие других методов доставки и других методов применения СПГ. Среди наиболее значимых новых направлений использования сжиженного газа можно перечислить следующие:

- Перекрытие сезонных пиков потребления ПГ.
- Создание резервных запасов ПГ у крупных потребителей.
- Разработка средних и малых месторождений ПГ, удаленных от газотранспортной инфраструктуры.
- Утилизация попутного нефтяного газа.
- Газификация удаленных промышленных объектов и населенных пунктов.
- Использование СПГ в качестве топлива для наземного и морского транспорта.

Относительно последнего из перечисленных направлений нужно сослаться на мнение президента США, который в январе 2012 года назвал СПГ видом топлива стратегического значения, обозначив тем самым официальную политику по переводу транспортных средств на газовый вид топлива [5]. Практически все из указанных преимущественно новых тенденций подразумевают средне- и малотоннажное производство сжиженного газа (здесь и далее под малотоннажным производством понимается 1-20 т/ч или до 0,2 МТРА).

3. ОСОБЕННОСТИ И СОСТОЯНИЕ РЫНКА СПГ В РОССИИ

Развитие спроса на СПГ в России кроме общемировых тенденций обусловлено также и другими факторами внутреннего характера.

Значительная протяженность границ России с севера на юг и с запада на восток приводит к тому, что наличие множества населенных пунктов и даже регионов характеризуются недостаточным энерго- и теплоснабжением из-за их удаленности от традиционных источников энергии и тепла. Даже крупные потребители газа зачастую не имеют его резервных запасов. Применение СПГ как способа газификации небольших и средних объектов, а также для создания резервов в таких условиях становится вполне приемлемым и экономически обоснованным решением.

Несмотря на стабильно высокий спрос на СПГ на мировых рынках, традиционно крупные производители проявляют заинтересованность в развитии внутреннего рынка в качестве альтернативы для сбыта газа. Экспортно-ориентированные проекты «Сахалин- 2», «Ямал-СПГ» и «Штокман» после завершения их создания поднимут суммарную экспортную мощность России до 38 МТРА. Такой сценарий предполагает повышение интереса к реализации части продукции на внутреннем рынке. Примеры такого развития от экспорта к импорту существуют. В частности, изначально экспортно-ориентированный проект Мельчорита в Перу (4,45 МТРА) в настоящее время используется владельцами для газификации объектов на внутрен-

нем рынке. Развитие системы морских терминалов кроме того является мощным стимулом для создания специфической инфраструктуры производства, хранения и регазификации СПГ.

Параллельно с реализацией крупных проектов в России продолжает совершенствоваться нормативная база, связанная с проектированием малых и средних объектов СПГ. В частности, в стадии согласования и утверждения находятся ГОСТР «Объекты малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа. Общие технические требования» и СП «Объекты малотоннажного производства и потребления СПГ. Требования пожарной безопасности».

Значительное влияние на развитие рынка СПГ в России может оказать постановление Правительства №37 от января 2012 года. Организации, оказывающие услуги по транспортировке газа по газораспределительным сетям, теперь могут учитывать расходы, связанные с производством, хранением и регазификацией СПГ, в процессе формирования общей розничной цены на ПГ. Иными словами, регазифицированный СПГ может продаваться по цене обычного природного газа «из трубы», что является значительным преимуществом при обеспечении им конечного потребителя. Несмотря на очевидные преимущества, стимулирующие спрос, постановление делает менее конкурентоспособными частные компании, не имеющие своих транспортных и газораспределительных сетей.

4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В МАЛОТОННАЖНЫХ СПГ-УСТАНОВКАХ

Для решения специфических задач, стоящих в настоящее время перед поставщиками СПГ, могут применяться традиционные технологические схемы малотоннажных установок.

4.1. Установки, работающие на перепаде давлений на ГРС

Россия эксплуатирует самую большую в мире систему магистральных трубопроводов протяженностью более 220 тыс. км. Наличие разветвленной системы газопроводов и газораспределительных станций (ГРС) позволяет создавать малотоннажные комплексы по ожижению газа во многих районах страны, используя перепад давлений между магистральным трубопроводом и газораспределительной сетью среднего давления. Принципиальная схема СПГ-установки с использованием перепада давлений на ГРС показана на рис. 3.

Преимуществами схемы, представленной на рис. 3, являются минимальные капитальные затраты и энергопотребление, так как нет необходимости в сжатии газа. Среди недостатков — территориальная привязка к месту расположения ГРС, низкий коэффициент ожижения исходного потока газа, а также необходимость в осушке всего входящего потока газа.

Несмотря на очевидные ограничения, именно этот тип технологии представляется наиболее пер-

спективным для применения на малотоннажных установках СПГ, особенно в России, в свете упомянутого постановления № 37.

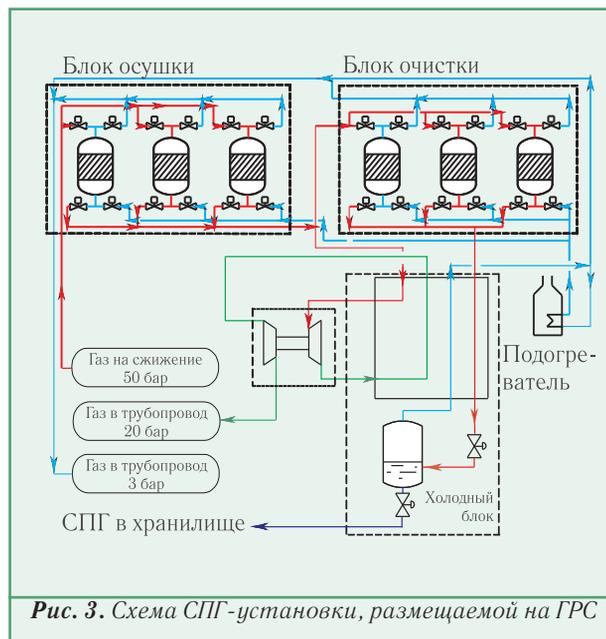


Рис. 3. Схема СПГ-установки, размещаемой на ГРС

4.2. Технология получения СПГ с использованием азотного цикла низкого давления

Наиболее универсальные и часто применяемые технологические схемы создаются на основе азотного цикла низкого давления (рис. 4).

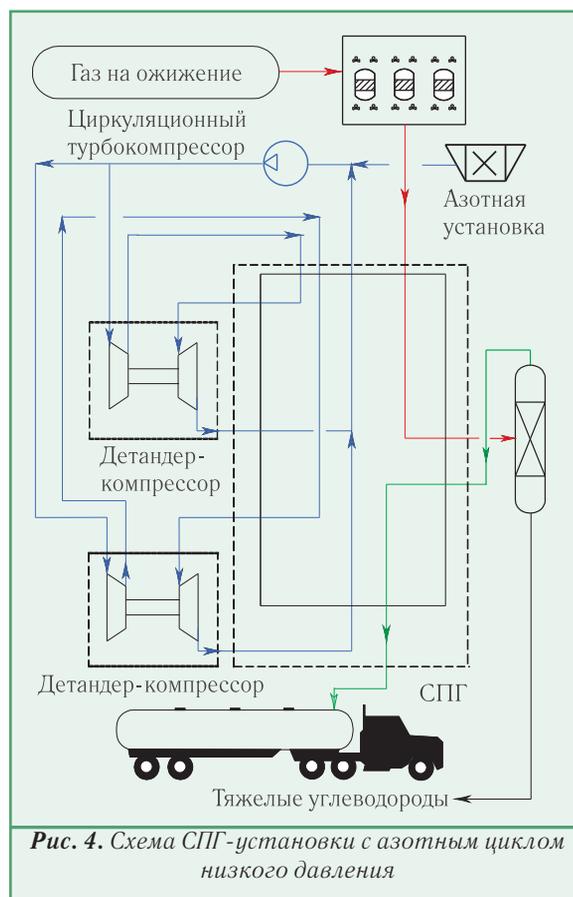


Рис. 4. Схема СПГ-установки с азотным циклом низкого давления

Кратко остановимся на особенностях схемы, показанной на рис. 4.

Природный газ поступает в блок очистки и осушки установки, где происходит очистка потока от влаги и CO_2 с использованием 3-х адсорберов. Далее осушенный и очищенный газ охлаждается в теплообменном аппарате циркулирующим азотом. На промежуточном температурном уровне из сепаратора выводятся тяжелые углеводороды C_{5+} . Паровая фаза затем из сепаратора направляется в теплообменник, в котором доохлаждается и конденсируется. Полученный СПГ выводится из установки.

Производимый в установке разделение воздуха азот используется для подпитки азотного контура. Поток азота сжимается циркуляционным турбокомпрессором, разделяется на два потока, каждый из которых поступает в ступень детандер-компрессорного агрегата. Ступени работают на разных температурных уровнях. Поток азота дожимается в детандер-компрессорном агрегате и направляется в теплообменный аппарат, где охлаждается обратным потоком азота низкого давления, затем расширяется в детандере и снова подается на вход в турбокомпрессор.

К основным преимуществам данной технологии можно отнести полное ожижение ПГ и относительно небольшие капитальные затраты (применяется центробежный компрессор с электроприводом), а также компактность и безопасность. Последние два показателя технологии сделали ее популярной для использования в оффшорных проектах, где безопасность и компактность выходят на передний план среди других требований.

Главное ограничение в применении установок с азотным циклом — наличие доступной и дешевой электроэнергии, что далеко не всегда возможно, особенно в условиях удаленных месторождений газа.

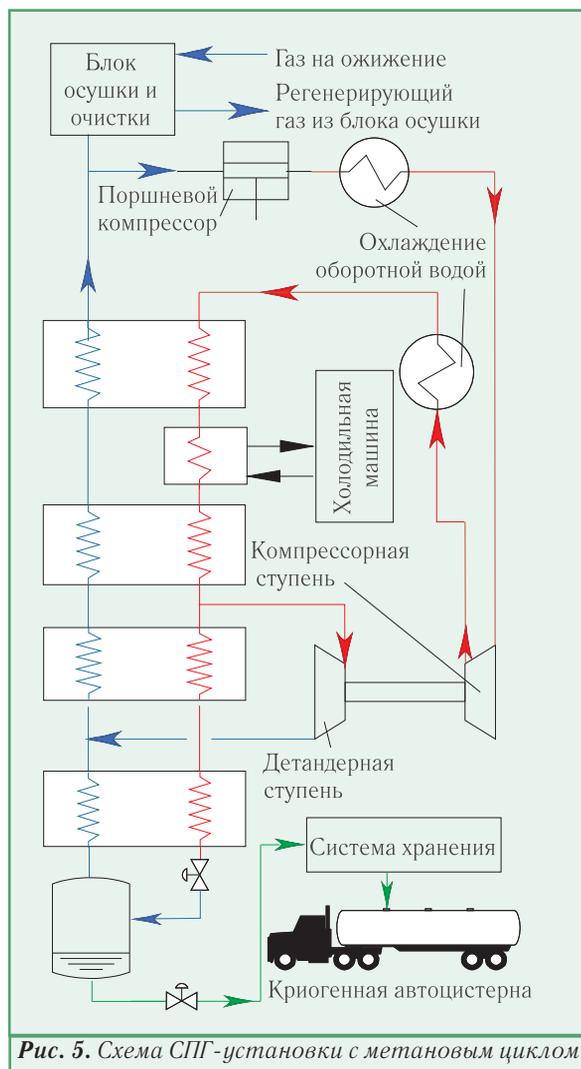
4.3. Технология ожижения природного газа с использованием метанового цикла

В случае реализации проектов СПГ-установок без доступа к источникам для ожижения ПГ применяется технология с метановым циклом (рис. 5).

Природный газ в этой схеме поступает в блок очистки и осушки с 3-мя адсорберами. Затем газ сжимается в поршневом циркуляционном компрессоре (возможно использование газового привода), дожимающем компрессоре турбодетандер-компрессорного агрегата и поступает в теплообменный аппарат для охлаждения. После предварительного охлаждения газа в пропановой холодильной машине и дальнейшего охлаждения в теплообменнике большая часть газа расширяется в турбодетандере, а меньшая часть после охлаждения в ступени окончательного охлаждения поступает в сборник жидкости.

Технология ожижения природного газа с использованием метанового цикла (см. рис. 5) применяется в непосредственной близости от мест добычи ПГ. К достоинствам данной технологии можно отнести обеспечение полного сжижения ПГ при минимальных затратах на электроэнергию, использование поршневых компрессоров с газовым приводом, метановых

детандер-компрессорных агрегатов, широко применяемых в установках переработки попутного нефтяного и природного газа с извлечением этана и более тяжелых углеводородов. Основным недостатком технологии — более высокая стоимость оборудования по сравнению с установками, использующими азотный цикл. В этой связи такое решение может быть рекомендовано для сравнительно крупных по производительности СПГ-установок (3-60 т/ч).



4.4. Смешанный цикл производства СПГ

При необходимости ожижения более крупных объемов природного газа применяются процессы с циклом, реализуемом на смешанном хладагенте (рис. 6).

СПГ-установки со смешанными хладагентами, как правило, характеризуются высокой стоимостью оборудования и требуют больших капитальных затрат. Вместе с ростом объема перерабатываемого газа традиционно растёт чувствительность проекта к операционным затратам. Применение схем комбинированного типа позволяет максимально снизить энергозатраты и оптимизировать смешанный хладагент, в том числе за счёт компонентов исходного газа. Обычно такие установки чувствительны к составу сырья и достаточно сложны в управлении.

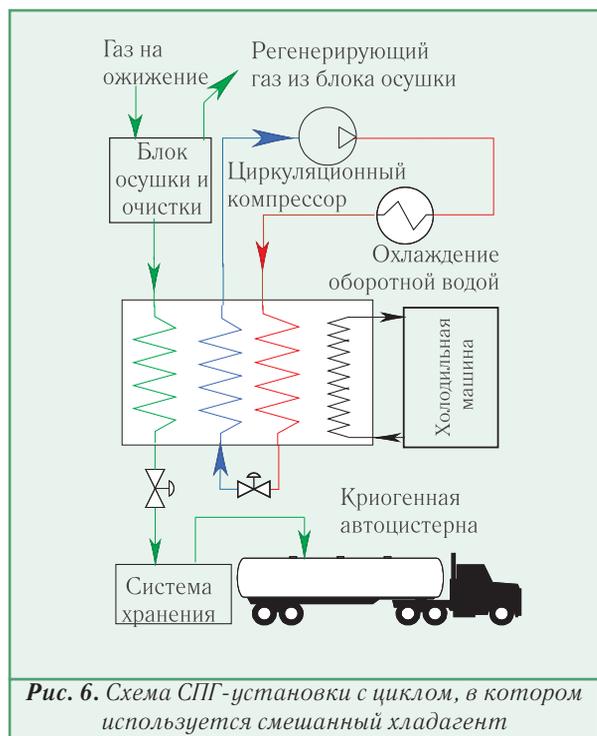


Рис. 6. Схема СПГ-установки с циклом, в котором используется смешанный хладагент

5. Стоимостный инжиниринг

Для оценки бюджета проекта строительства СПГ-комплекса необходимо выбрать технологическую схему и оценить стоимость предлагаемого к использованию оборудования.

Степень детализации и точности бюджетных оценок промышленных проектов регламентируется Международной ассоциацией развития стоимостного инжиниринга (Association for the Advancement of Cost Engineering — AACE) [6]. На начальных этапах проекта традиционно применяются методы масштабирования с использованием опыта по уже реализованным проектам.

Согласно ААСЕ, оценки бюджета разбиты на классы от 5 до 1 по степени их точности (табл. 1). Так, предварительные оценки на ранних стадиях проекта, например, в рамках пред-ТЭО, соответствуют классу 5, а наиболее детализированный и точный расчёт цены — классу 1. Как правило, на этапе подачи коммерческого предложения или тендерной заявки подрядчики ограничиваются третьим классом оценки. Нормой погрешности в таких случаях считается от -20 до +30 %. В случае реализации проекта «под ключ» риски, связанные с неточностью оценки, очевидно, несет генподрядчик. Допускаемые погрешности оценок в рамках других классов, их соответствие этапам проектов и рекомендованная методология, по нормам ААСЕ, приведены в табл. 1.

В графической форме зависимость степени погрешности бюджетной оценки от уровня проработки проекта показана на рис. 7. Применительно к проектам малотоннажного СПГ-производства, методики оценки, предлагаемые ААСЕ, применяются нашей компанией, начиная с начальных этапов оценки бюджетов и их структурирования.

Таблица 1. Основные этапы последовательного уточнения бюджетных оценок проекта

Класс оценки	Степень определенности проекта	Этап	Методология	Погрешность оценки
Класс 5	От 0 % до 2 %	Пред-ТЭО (Concept)	Опыт других проектов, масштабирование	L: -20 % до -50 % H: +30 % до +100 %
Класс 4	От 1 % до 15 %	ТЭО, бюджетная оценка (Feasibility)	Масштабирование на уровне оборудования	L: -15 % до -30 % H: +20 % до +50 %
Класс 3	От 10 % до 40 %	Проект. Тендер. ТКП. FEED (Basic Engineering)	Котировки и осново-ное обо-рудование	L: -10 % до -20 % H: +10 % до +30 %
Класс 2	От 30 % до 75 %	Рабочий проект. Тендер. ТКП	Котировки оборудования. Расчёт	L: -5 % до -15 % H: +5 % до +20 %
Класс 1	От 65 % до 100 %	Рабочая документация. Тендер. ТКП	Отсутствие предположений. Расчёт всей цепочки	L: -3 % до -10 % H: +3 % до +15 %

Примечание: L, H — нижняя и верхняя границы оценок

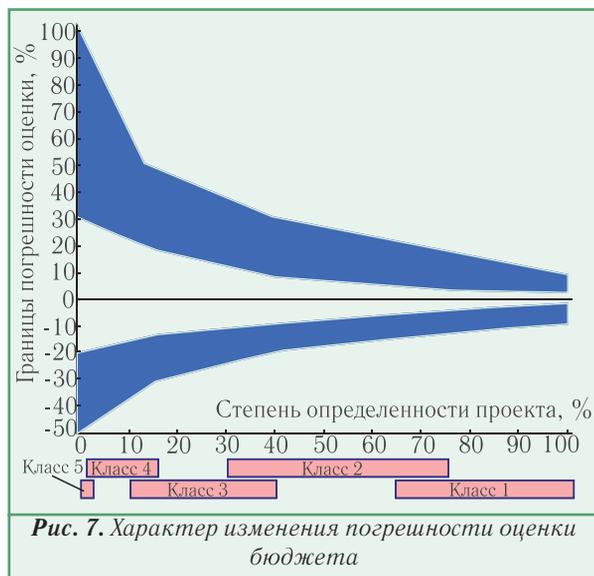


Рис. 7. Характер изменения погрешности оценки бюджета

Опыт работы с проектами в диапазоне производительностей от 1 до 20 т/ч позволяет нам дать примерное распределение капитальных затрат по категориям расходов, характерное для этого типа объектов (табл. 2) [7]. При этом только 30-40 % затрат приходится на технологическое оборудование, связанное непосредственно с процессом ожижения. Остальные 60-70 % — на хранение продуктов, подготовку сырья, вспомогательные системы.

В абсолютных цифрах средние общемировые размеры капитальных затрат по малотоннажным производствам находятся в настоящий момент в диапазоне от 700 до 1200 USD/МТРА (долларов на произведенную за год тонну СПГ) [8]. При этом оптимизация структурирования бюджета позволяет снизить эти показатели до 500-800 USD/ МТРА. Именно в таких диапазонах «Премиум Инжиниринг» стремится давать свои коммерческие предложения для достижения максимальной конкурентоспособности.

Таблица 2. Распределение капитальных затрат по категориям расходов на основное оборудование

Часть проекта	CAPEX, %	Страна	Преимущества
«Низкотехнологичное» оборудование: ВРУ и вспомогательное	55 %	Китай	— низкие цены — короткие сроки изготовления и
Высокотехнологичное оборудование: Компрессоры. Турбодетандеры. Крионасосы	25 %	США/Германия	— гарантированное качество и высокая надежность
Криогенные хранилища	6 %	Китай	— низкие цены — короткие сроки изготовления и поставки
Проектирование (П, РП, РД, ген-проектировщик)	14 %	Россия (собств. возможности)	— низкие цены — соответствие местным стандартам
Всего:	100 %		

Примечание: CAPEX — капитальные затраты

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внимательное отношение к капитальным затратам объясняется также высоким значением этого показателя при оценке инвестиционной привлекательности проекта по малотоннажному СПГ-производству. По разным оценкам, эксплуатационные затраты

(электроэнергия, фонд зарплаты, техобслуживание и пр.) варьируются в пределах от 10 до 30 USD/ МТРА (т.е. менее 5% от CAPEX) [9]. Учитывая сравнительно небольшое влияние эксплуатационных затрат установки при формировании денежных потоков в первые годы существования проекта, можно принимать, что срок возврата инвестиций напрямую зависит от размера первоначальных вложений.

Другим важным параметром для оценки привлекательности проекта является возможность выгодной реализации продукта на рынке. Как представляется, в настоящее время ситуация складывается довольно оптимистично, при этом имеющиеся преимущества со временем могут даже увеличиться. Для примера проиллюстрируем возможные сценарии ценообразования СПГ для малотоннажных проектов в России. В первом случае ПГ приобретается по рыночной цене независимым предпринимателем и реализуется после ожижения, транспортировки и регазификации (рис. 8). Можно отметить, что цена продукта в этом сценарии получается конкурентоспособной по сравнению со всеми другими основными видами топлива за исключением угля. В случае использования СПГ в качестве альтернативы дизельному топливу и СУГ остается существенный запас по норме прибыли. В графике использованы средние цены по России за первое полугодие 2012 г.

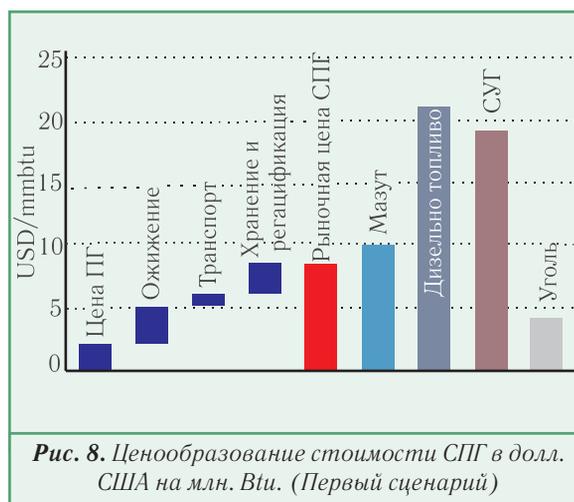


Рис. 8. Ценообразование стоимости СПГ в долл. США на млн. Вти. (Первый сценарий)

Учитывая постановление № 37, совершенно другую схему ценообразования можно сформировать для малотоннажных установок на ГРС с использованием технологии на перепаде давлений. В результате учёта в ценообразовании всего реализуемого ПГ и затрат на ожижение его части итоговая цена продукта вырастет незначительно. Регазифицированный СПГ и ПГ в сетях распределения будут продаваться по одной цене. В этой связи конкурентоспособность регазифицированного СПГ ожидается на очень высоком уровне и может способствовать замещению практически всех альтернативных видов топлива на удаленных объектах, включая уголь (рис. 9). Вместе с тем, реализация таких проектов возможна лишь в привязке к действующим ГРС, а производительность установок ограничена особенностями технологии, описанными выше, пропу-

скной способностью магистральных газопроводов и перепадом давлений.

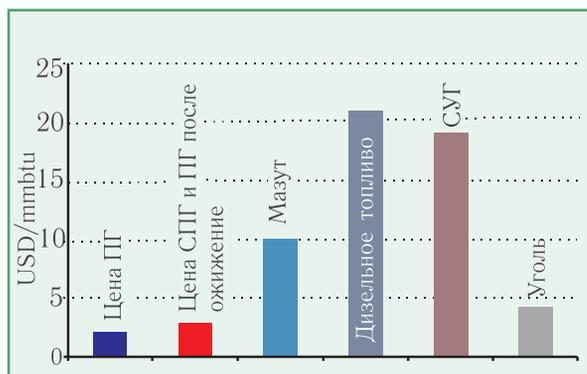


Рис. 9. Ценообразование стоимости СПГ в долл. США на млн. Btu. (Второй сценарий)

Вместе с постепенной либерализацией цен на энергоносители разрыв в стоимости между основными видами топлива, вероятно, будет только увеличиваться. Эту тенденцию можно отследить уже сейчас на российском рынке и подтвердить европейскими показателями (табл. 3).

Таблица 3. Стоимость энергоносителей в России и Европе

Вид топлива	Россия	Европа	Россия	Европа
	USD/т	USD/т	USD/mmbtu	USD/mmbtu
Мазут	380	920	10,1	24,4
ДТ	850	2 258	21,0	55,9
СУГ	837	1 041	19,2	23,8
Уголь	76	120	4,2	6,7
ПГ	110	595	2,1	10,0

При увеличении ценовых разрывов между ПГ и другими видами топлива возможности для коммерчески обоснованных проектов СПГ будут увеличиваться. Изложенные благоприятные рыночные условия

вместе с характерной для малотоннажных проектов зависимостью от капитальных вложений делают проекты СПГ-установок достаточно привлекательными. В секторе малотоннажных установок ведущие мировые бренды пока добиваются достаточно скромных успехов. Являясь практически монополистами на рынке крупных проектов, они предлагают лицензионные высокотехнологичные решения, позволяющие минимизировать энергозатратность процессов и производительность, но не всегда способны предложить решения с низкими капитальными затратами. Этот феномен все еще позволяет успешно конкурировать небольшим компаниям, применяя классические схемы СПГ-установок, за счёт грамотного структурирования бюджетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.bloomberg.com>
2. **Alexey Miller.** Gazprom, Gas market integration: for a sustainable global growth// 25th World Gas Conference, Kuala Lumpur, 2012.
3. **De la Rey Venter.** Global Head of LNG// 25th World Gas Conference, Kuala Lumpur, 2012.
4. **Susan L. Sakmar.** University of San Francisco, The Golden Age of Gas: Opportunities and Challenges for LNG as a Fuel for the 21st Century// 25th World Gas Conference, Kuala Lumpur, 2012.
5. **Bruce Russell.** President Obama's Support of Natural Gas Vehicles and LNG Fueling Corridors for Trucking// BUSINESS WIRE, January 27, 2012.
6. Cost estimate classification system// AACE International Recommended Practice No. 18R-97. — November 29. — 2011.
7. Внутрикorporативные данные ООО «Премиум Инжиниринг».
8. **Joe Wehrman, Mark Roberts, Bill Kennington.** Air Products advances machinery-process configurations for evolving LNG landscape// LNG Journal. — 2012. — № 5. — P. 26-28.
9. Предполагается, CAPEX составили 600-700 USD/тра, срок возврата инвестиций — 3 года.

**Книги “Кислород...”
делают бизнес успешным**

В трехтомнике “Кислород. История и современность” собраны лучшие статьи, опубликованные в журнале “Технические газы”. В них отражены достижения в области создания оборудования для производства технических газов и реализации эффективных технологий на их основе.

По вопросам приобретения обращаться :
а/я 188, г. Одесса-26, Украина, 65026;
тел./факс: +380 48 777 00 87;
E-mail: uasigma@paco.net;
Web: www.uasigma.odessa.ua