

КОНЦЕПЦИЯ МАЛОТОННАЖНОЙ ГАЗОХИМИИ в освоении ресурсов российского природного газа

В РАБОТЕ РАССМАТРИВАЕТСЯ ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ РОЛЬ МАЛОТОННАЖНОЙ ГАЗОХИМИИ В ОСВОЕНИИ
РОССИЙСКИХ РЕСУРСОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА, А ТАКЖЕ ГАЗОХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ДЛЯ
МАЛОТОННАЖНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

THIS ARTICLE EXAMINES THE POTENTIAL ROLE OF LIGHT-DUTY GAS CHEMISTRY IN THE DEVELOPMENT OF RUSSIAN
NATURAL GAS RESOURCES AND GAS CHEMICAL TECHNOLOGY, PROMISING FOR LIGHT-DUTY IMPLEMENT

Ключевые слова: *малотоннажная газохимия, природный газ, газохимические технологии.*

**Арутюнов
Владимир Сергеевич,**
доктор химических наук, профессор,
иностраный член НАН Республики Армения,
заведующий Лабораторией окисления
углеводородов Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института химической физики им. Н.Н. Семенова
Российской академии наук,
профессор Кафедры газохимии РГУ нефти и газа
им. И.М. Губкина

Значение природного газа в XXI веке

Природный газ вошел в число основных мировых источников энергии относительно поздно, лишь к середине прошлого века, и долго уступал по своему значению более старым ископаемым ресурсам – нефти и углю. Однако к началу XXI века стало ясно, что по общему объему ресурсов природный газ превосходит все остальные горючие ископаемые, и именно ему в новом столетии предстоит стать основным источником энергии и углеводородов для мировой экономики.

Внимание к ресурсам природного газа особенно повысилось в ходе крупнейшей за последние полвека научно-технической революции в области энергетики, превратившей в реальные извлекаемые энергетические ресурсы огромные нетрадиционные запасы нефти и природного газа, включая сланцевый газ и газ слабопроницаемых пород. На очереди – разработка месторождений газовых гидратов, на которые, по оценкам, приходится почти половина всего органического углерода земной коры.

Однако практическое использование природного газа из-за его агрегатного состояния значительно сложнее, чем жидких углеводородов нефти. Кроме того, затраты на извлечение нетрадиционных ресурсов природного газа, как правило, заметно выше. Эти ресурсы рассредоточены по большим площадям, часто в труднодоступных и удаленных, в том числе арктических

районах и на морском шельфе. Их извлечение требует сложных дорогостоящих технологий, но даже это обеспечивает лишь относительно низкий дебит и непродолжительное время рентабельной эксплуатации скважин.

В связи с растущим значением нетрадиционных видов природного газа для мировой экономики и энергетики первостепенное значение приобретает не только создание новых технологий их экономически эффективной добычи, но и транспортировки этих ресурсов на мировые рынки и их превращения в более востребованные химические продукты и моторные топлива. Поэтому проблема конверсии углеводородных ресурсов природного газа в более ценные и легко транспортируемые продукты становится одной из главных научно-технических проблем современности, а газохимия – одним из важнейших технологических направлений нашего времени. Именно в этой области в ближайшие годы следует ожидать важных инноваций, которые могут оказать большое влияние на мировую энергетику, экономику и даже геополитику.

Прошедший XX век благодаря доступным ресурсам нефти и относительной простоте деструктивных процессов ее переработки (крекинг, пиролиз, дегидрирование, изомеризация), позволяющим широко использовать равновесные каталитические процессы, без преувеличения, был веком нефти и нефтехимии. Доступность и относительная дешевизна жидких углеводородов и получаемого из них топлива с высокой объемным энергетическим потенциалом позволили сформировать современную структуру экономики, энергетики и транспорта. Именно широкое использование жидкого топлива обеспечивает нашей цивилизации такие ее неотъемлемые черты, как высокая мобильность и эффективность. Однако мировое производство нефти уже практически достигло своего пика, в то время как потребление природного газа продолжает быстро увеличиваться. Сейчас природный газ рассматривается как наиболее обильный и динамично развивающийся первичный источник энергии. Огромные ресурсы природного газа и новые технологии его добычи делают XXI век веком газа и, следовательно, газохимии.



Быстрый рост добычи нетрадиционного газа в США уже привел к снижению цены природного газа по отношению к нефти (в нефтяном эквиваленте) в ~5 раз, что делает очень привлекательным его использование не только в качестве энергетического топлива, но и нефтехимического сырья. Особенно это относится к районам с большими ресурсами дешевого газа – Ближнему Востоку, США и, конечно, России. США сейчас переживают настоящий бум в развитии газохимии на базе дешевого сланцевого газа. Уже анонсировано около 100 инвестиционных проектов в области химии, базирующихся на сланцевом газе, общей стоимостью более 70 млрд долл. Ожидается, что к 2020 г. эти новые предприятия создадут 500 000 новых рабочих мест и будут ежегодно производить химическую продукцию общей стоимостью около 66,8 млрд долларов.

Крупнейшие мировые компании создают в США, как зоне дешевого и доступного газа, свои химические предприятия. Появление дешевого сланцевого газа снизило почти в два раза себестоимость производства этилена, сделав США, наряду с Ближним Востоком, наиболее привлекательным для этого регионом, в котором стоимость производства этилена в 3–4 раза ниже, чем в Китае и Западной Европе [1]. Неудивительно, что с 2012 г. в США уже анонсировано строительство свыше 8 млн т/год новых мощностей по пиролизу этана в этилен, вступление которых в строй ожидается к 2017 году.

Ожидаемые изменения в ресурсной базе российской газовой отрасли

Россия является страной, наиболее обеспеченной ресурсами природного газа. На ее территорию приходится около четверти доказанных и более 40% вероятных ресурсов традиционного природного газа. Но подавляющая часть отечественных ресурсов газа расположена в регионах с суровым климатом и неразвитой инфраструктурой, удаленных от

отечественных потребителей и мировых рынков. Эти ресурсы огромны, но высокая себестоимость их добычи, а главное, транспортировки традиционными методами на огромные расстояния значительно снижает их конкурентоспособность на мировых рынках.

До 80% отечественной добычи приходится на долю сеноманского газа, добываемого на сравнительно небольшой территории в Надым-Пур-Тазовском районе Ямало-Ненецкого автономного округа, имеющего соответствующую газотранспортную инфраструктуру. Однако большинство открытых месторождений сеноманского газа вступает или уже вступило в стадию падающей добычи. Поэтому неизбежен переход к менее удобным ресурсам валанжинского газа, арктическим месторождениям, в том числе на шельфе, месторождениям в еще не освоенных районах Восточной Сибири, где затраты на добычу и транспортировку неизбежно будут выше (рис. 1).

По оценкам, себестоимость добычи даже сеноманского газа на новых месторождениях возрастет в 1,5–2 раза. Еще больше увеличится себестоимость добычи и переработки «жирного» газа из глубоких валанжинских и ачимовских залежей, которая уже сейчас на разведанных месторождениях оказывается в 1,5–2 раза выше, чем сеноманского газа.

Но главная проблема в огромных затратах на прокладку новых магистральных трубопроводов и перекачку по ним природного газа, или на сжижение природного газа и транспортировку полученного СПГ. Применение этих технологий может быть экономически оправданным только при объемах транспортируемого газа от 10 млрд м³/год и выше [2,3].

Однако существуют огромные ресурсы природных газов, для которых дорогостоящие традиционные технологии трубопроводной транспортировки, и тем более, криогенной транспортировки в виде СПГ экономически неприемлемы. Прежде всего, это газ небольших месторождений, число которых в

РИС. 1. Стоимость добычи различных видов газа

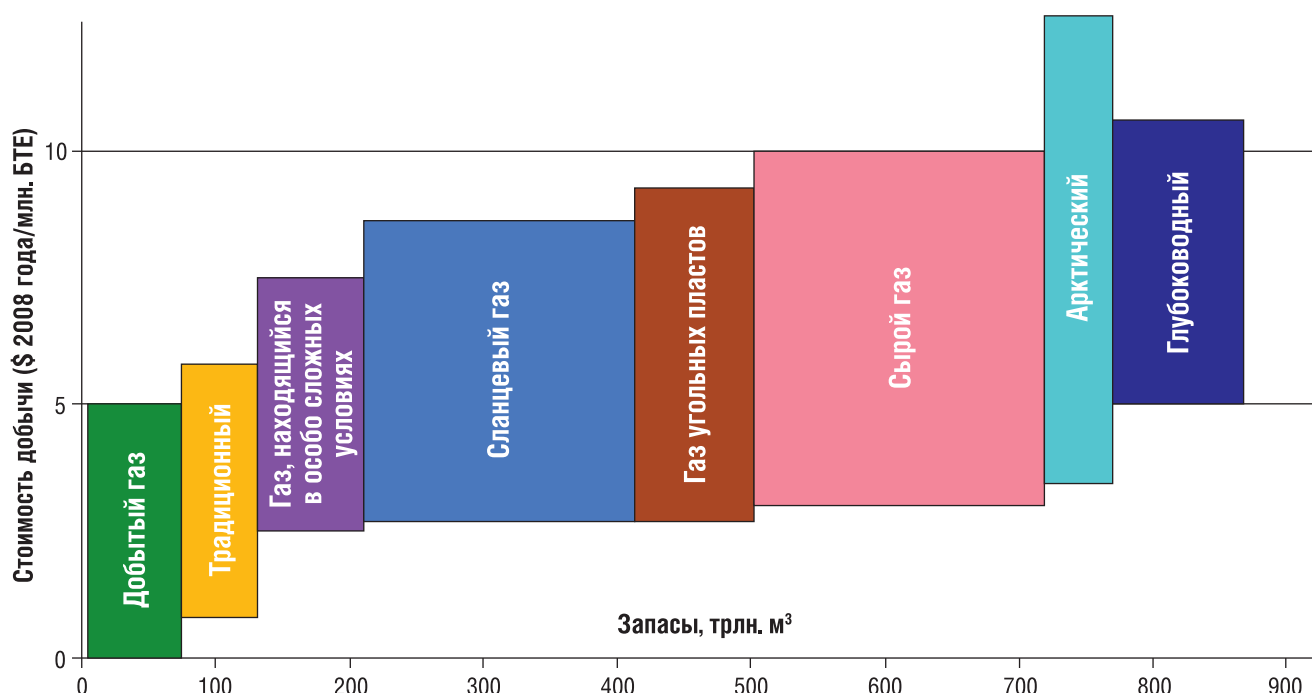
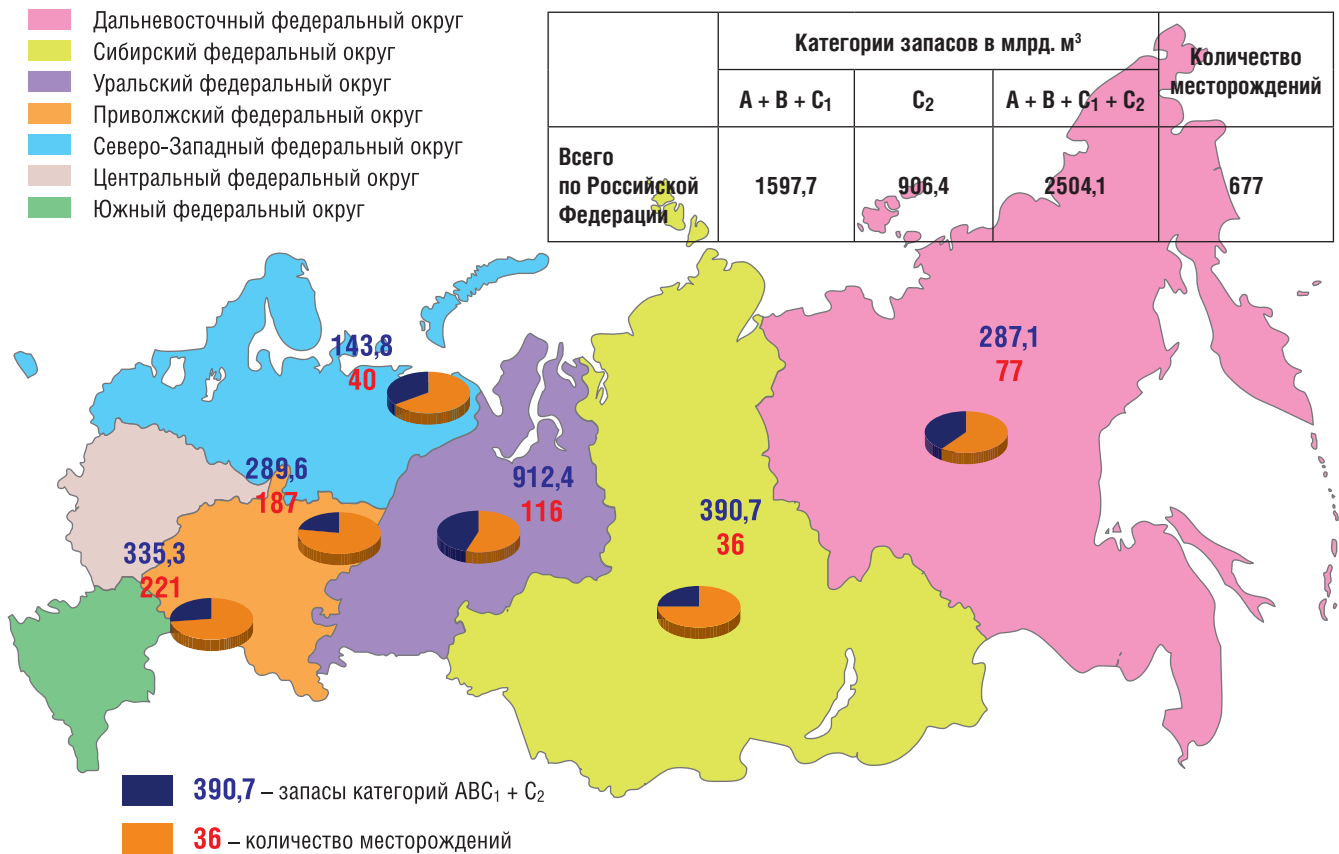


РИС. 2. Запасы природного газа в малых месторождениях



Российской Федерации достигает почти семисот с общим объемом запасов в ~1,6 трлн м³ (рис. 2).

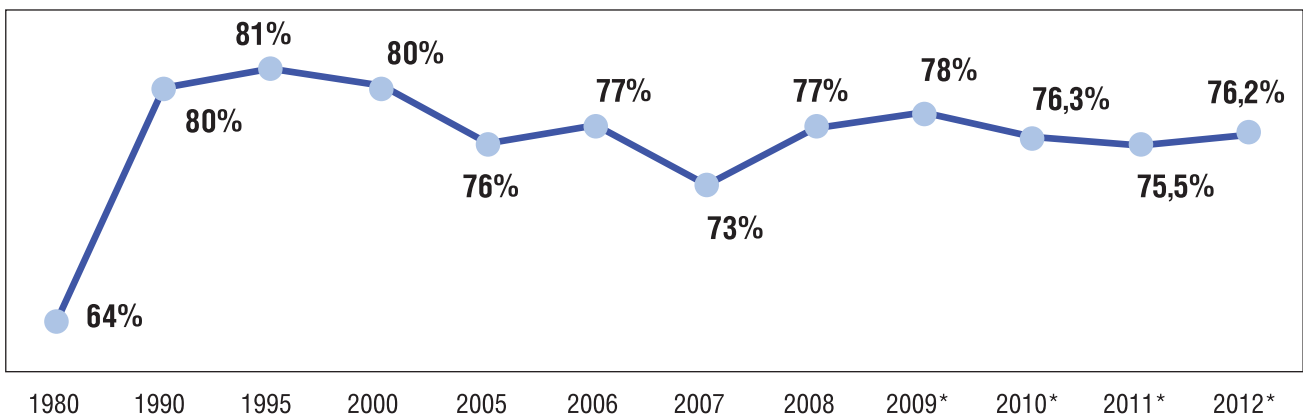
По мере истощения основных сеноманских месторождений быстро растут запасы низконапорного природного газа, также требующие новых технологий их использования. Только в Ямало-Ненецком округе остаточные запасы низконапорного сеноманского газа могут составить 4–5 трлн. м³ [4].

Большую проблему представляет утилизация попутного нефтяного газа (ПНГ), доля сжигания которого в России последние 10 лет не снижается, несмотря на все предпринимаемые усилия и законодательные меры (рис. 3).

Хотя оценки объема ПНГ, сжигаемого в почти 2 тысячах факелов на территории России, по-прежнему

сильно различаются, несомненно, что эта величина не ниже 20 млрд м³/год, а, скорее всего, значительно выше. Наносимый этим экономический ущерб оценивается в несколько миллиардов долларов [5], а экологический вряд ли возможно даже оценить. Проблема эта далеко не только российская. С развитием добычи нефти с морских платформ, а также сланцевой нефти, эта проблема быстро обостряется и в США. Так, на месторождениях Северной Дакоты средний российский уровень утилизации ПНГ в 74–76% еще только планируют достигнуть, а утилизация 90% ПНГ не планируется ранее 2020 года. Не снижается в последние годы и мировой объем сжигаемого ПНГ, оцениваемый в ~150 млрд м³/год. Главная проблема, которая не может быть решена только законодательными мерами, заключается в отсутствии

РИС. 3. Уровень использования ПНГ российскими нефтяными компаниями [5]



как в России, так и за рубежом, технологий, которые бы позволяли экономически рентабельно перерабатывать небольшие, всего 10–50 млн м³/год объемы ПНГ.

Необходимо учитывать и перспективу добычи нетрадиционного газа, ресурсы которого в России, по некоторым оценкам, достигают 50 трлн м³ [3]. Их освоение, учитывая специфику российских условий, также потребует новых технологий использования и транспортировки газа.

Малотоннажная газохимия как стратегическое направление рационального использования отечественных ресурсов природного газа

Идеальным решением всех этих проблем было бы создание малотоннажных технологий конверсии различных по происхождению, составу и дебиту природных газов непосредственно в промышленных условиях в более легко транспортируемые жидкие продукты и моторные топлива. Транспортировка жидких продуктов, занимающих примерно в 10 раз меньший объем по сравнению даже с газами при давлениях магистральных трубопроводов и не требующих постоянных затрат энергии на поддержание давления, обходится примерно в 10 раз дешевле. При этом превращение природного газа даже в такие относительно дешевые жидкие продукты, как метанол или бензин, увеличивает его добавленную стоимость в 4–6 раз [6, 7], что выгодно отличает химическую конверсию природного газа в жидкие продукты от его криогенного сжижения с получением СПГ. В последнем случае при практически таких же затратах получаемый продукт не только не обладает добавочной стоимостью, но еще и требует дополнительных затрат на его последующую регазификацию.

Поэтому для России с ее природными энергоресурсами, громадными расстояниями и экономикой, пока все еще ориентированной преимущественно на

экспорт энергетического сырья, создание новых газохимических технологий, позволяющих более эффективно, гибко и рентабельно транспортировать газовые ресурсы на мировые рынки, а также перерабатывать их в химические продукты с высокой добавленной стоимостью, имеет стратегическое значение. В связи с этим необходимо стимулировать развитие отечественной газохимии и ускорение масштабов исследований и разработок в данной области.

Выделение газохимии в отдельную от нефтехимии отрасль имеет под собой очень серьезное обоснование. И дело не только и не столько в разном агрегатном состоянии исходного сырья. Даже пиролиз этана и других выделяемых из природного газа тяжелых фракций может быть отнесен к традиционной нефтехимии. Поэтому под газохимией в данном случае следует понимать получение химических продуктов непосредственно из метана, то есть нефтехимию на основе метана. Она принципиально отличается от традиционной «деструктивной» нефтехимии «конструктивной» направленностью процессов, целью которых является получение из этой наиболее простой и наиболее стабильной углеводородной молекулы всей совокупности более сложных и менее стабильных продуктов современной нефтехимии.

Современная крупнотоннажная газохимия является вполне зрелой технологической отраслью с более чем полувековой историей и десятками предприятий мирового уровня. Однако практически все получаемые из природного газа продукты, за исключением галоидосодержащих соединений и синтез-газа, термодинамически менее стабильны, чем метан. Поэтому современные промышленные технологии химической переработки природного газа в подавляющем большинстве основаны на чрезвычайно энерго- и капиталоемком процессе его предварительной конверсии в синтез-газ. Из-за сложности традиционных газохимических

РИС. 4. Экономика современных процессов GTL в условиях Мексиканского залива [8]

US GULF COAST GTL PROTOTYPIC ECONOMICS

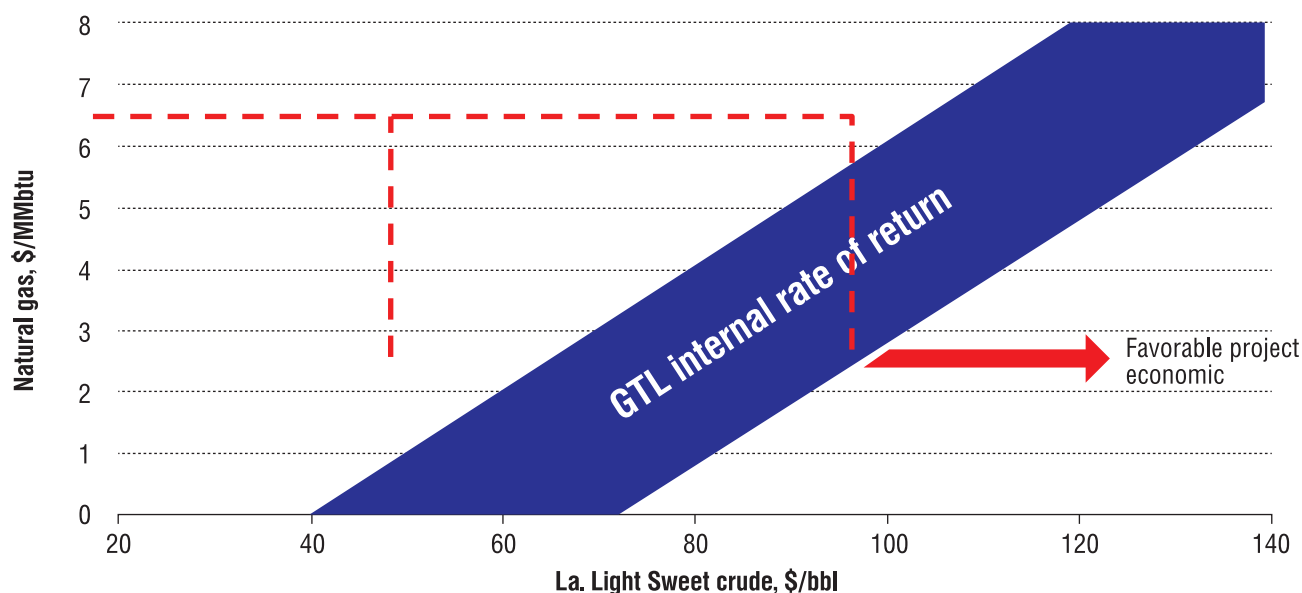
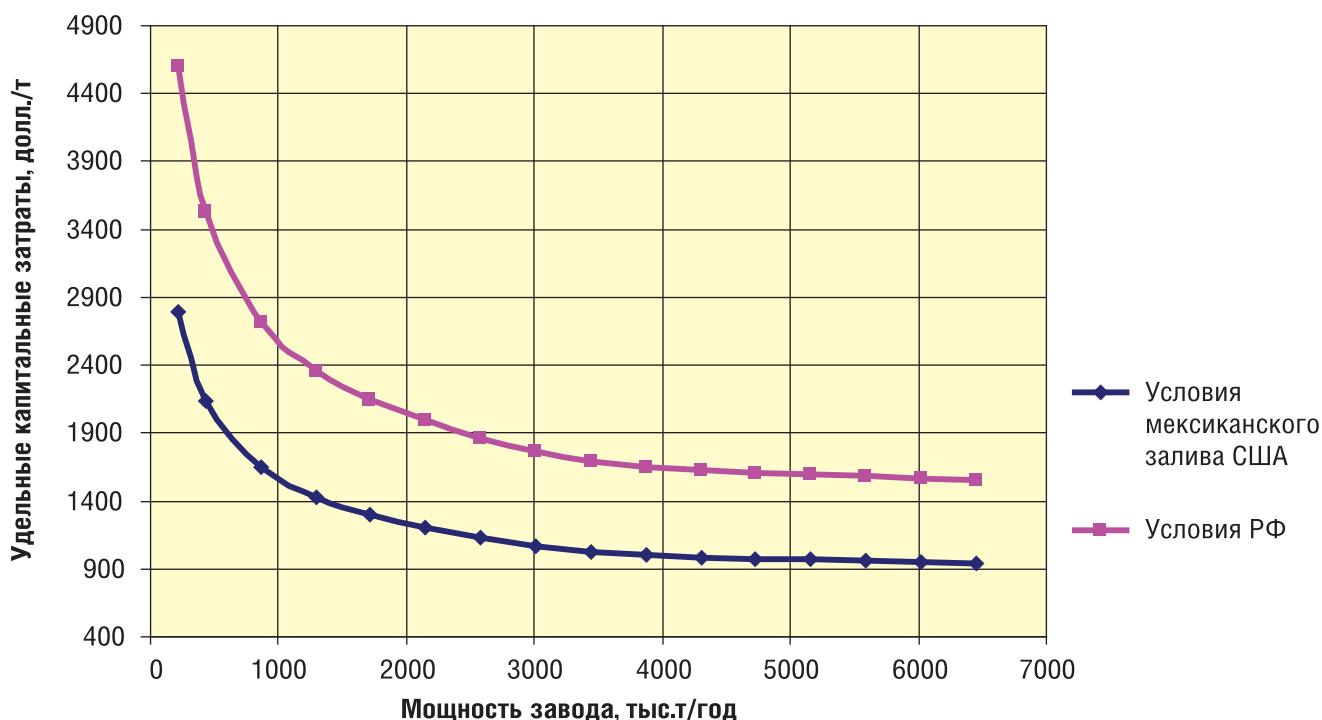


РИС. 5. Зависимость удельных капзатрат реализованных и анонсированных технологий GTL от объема производства [9]



процессов удельные капвложения в них на порядок выше, чем в нефтехимии. Например, инвестиции в крупнейший современный газохимический комплекс по получению из природного газа синтетических жидких углеводородов (СЖУ) и моторных топлив Pearl GTL (Катар) мощностью 140 000 баррелей в сутки превысили 24 млрд долл. То есть удельные капитальные затраты превышают 170 000 долл. за баррель ежедневной продукции. Для значительно менее крупного предприятия Escravos GTL (Нигерия) мощностью 34 000 баррелей в сутки еще до завершения строительства инвестиции превысили 8.4 млрд долл., что соответствует удельным капитальным затратам более 250 000 долл. за баррель ежедневной продукции. Это на порядок превышает типичные удельные капитальные затраты в нефтепереработке и нефтехимии. Поэтому даже в идеальных условиях Мексиканского или Персидского залива еще до падения цены на нефть современные GTL технологии балансировали на грани рентабельности (рис. 4).

Одна из главных причин низкой рентабельности традиционных газохимических технологий – высокие капитальные и энергетические затраты на получение синтез-газа. На долю этих процессов, связанных с интенсивными тепловыми потоками, приходится до 60–70% всех затрат на получение метанола или GTL-продуктов, а удельные капвложения на их реализацию стремительно растут при снижении объема производства (рис. 5) [9].

Поэтому рентабельная эксплуатация современных газохимических технологий возможна только на крупнейших газовых месторождениях, располагающих запасами более 300 млрд м³ газа. Однако значительные запасы газа сосредоточены в более мелких месторождениях с запасами 3–30 млрд м³, для которых коммерческий интерес представляет объем производства на уровне 1000–10000 bpd [10]. То же самое относится и к месторождениям

нетрадиционных источников, например, сланцевого газа, среднесуточный дебит которых составляет примерно 100 тыс. м³, а время активной эксплуатации – всего несколько лет. Изменение структуры ресурсной базы мировой газодобычи в связи с быстрым ростом доли менее крупных и нетрадиционных источников газа диктует необходимость создания более гибких и менее тоннажных газохимических процессов конверсии природных газов в жидкие продукты [10]. Газохимии XXI века необходимы принципиально новые технологии превращения природного газа в химические продукты и моторные топлива, более гибкие в отношении состава исходного сырья и получаемых продуктов и экономически рентабельные даже в малотоннажном исполнении.

Перспективные процессы малотоннажной газохимии

Очевидная потребность в малотоннажных газохимических процессах стимулирует активность отечественных и зарубежных компаний в области разработки малотоннажных модульных GTL-систем, способных функционировать как на земле, так и на плавучих заводах и добывающих платформах. Цель – вовлечь в производство такие источники газа, которые либо недостаточно велики для рентабельного использования больших газохимических заводов, либо находятся далеко от трубопроводов, а также обеспечить возможность переработки попутных нефтяных газов. Для реализации этой цели нужны принципиально новые технологические решения, более простые и экономичные, допускающие рентабельную переработку небольших объемов разнообразного по составу и дебиту газового сырья. Кроме того, при разработке нетрадиционных источников газа отрасль впервые сталкивается с ситуацией, когда активное время жизни источника сырья может быть в несколько раз меньше расчетного срока



эксплуатации оборудования. Поэтому в течение периода своей эксплуатации это оборудование может быть несколько раз демонтировано и перемещено в на другую площадку. Таким образом, при разработке малотоннажных процессов необходимо исходить из достаточно специфических принципов, сильно отличающихся от тех, которые лежат в основе создания крупнотоннажных технологий [11]:

- Полностью заводское изготовление оборудования без проведения на месте строительно-монтажных работ.
- Блочная-модульная компоновка оборудования с возможностью наращивания и снижения объема перерабатываемого газа по мере изменения дебита скважин.
- Легкость демонтажа и перемещения оборудования при истощении месторождения.
- Универсальность технологических модулей, возможность компоновать модули различных производителей как стандартное оборудование.
- Наличие модулей подготовки газа, рассчитанных на широкий диапазон его параметров по объему, составу, содержанию серы, влаги и т.д.
- Автономное энергообеспечение за счет добываемого газа.
- Высокая степень автоматизации, минимум обслуживающего персонала.
- Минимальная степень передела с получением одного легко транспортируемого монопродукта для дальнейшей переработки на специализированных предприятиях и (при наличии потребителя или газотранспортной системы) сухого газа.

Создание более простых и эффективных газохимических технологий, на основе которых можно было разрабатывать оборудование, удовлетворяющее этим принципам, возможно двумя принципиально разными путями. Необходимо либо попытаться разработать принципиально новые более эффективные методы конверсии природного газа в синтез-газ, либо создавать технологии превращения природного газа в востребованные химические продукты, вообще не требующие его промежуточного превращения в синтез-газ.

Над созданием новых методов получения синтез-газа в мире сейчас работает много исследовательских групп. Наиболее популярные направления в этой области [12]:

- Окисление метана с использованием керамических мембран, проницаемых для кислорода при высоких температурах;
- Использование микроканальных реакторов;
- Окисление метана при миллисекундных временах контакта с катализатором;
- Получение синтез-газа на основе различных энергетических технологий;
- Конверсия углеводородов в синтез-газ на основе проницаемых объемных матриц;
- Процессы получения синтез-газа на основе процессов фильтрационного горения.

К сожалению, пока не одна из этих технологий не доказала своей эффективности в промышленных масштабах, хотя рядом известных компаний созданы собственные пилотные установки для обработки и

демонстрации новых процессов. Большую активность в этом плане проявляет компания Syntroleum [13]. Принципиальным отличием ее технологии является получение синтез-газа в автотермическом риформинге (ATR) с использованием не кислорода, а воздуха, что значительно сокращает общие расходы. К настоящему времени по технологии Syntroleum построена опытная установка Syntroleum Tulsa Pilot Plant мощностью 2 bpd для тестирования процесса и демонстрационная установка Syntroleum Catoosa Demonstration Plant мощностью 70 bpd (~3000 т/год) в промышленном исполнении.

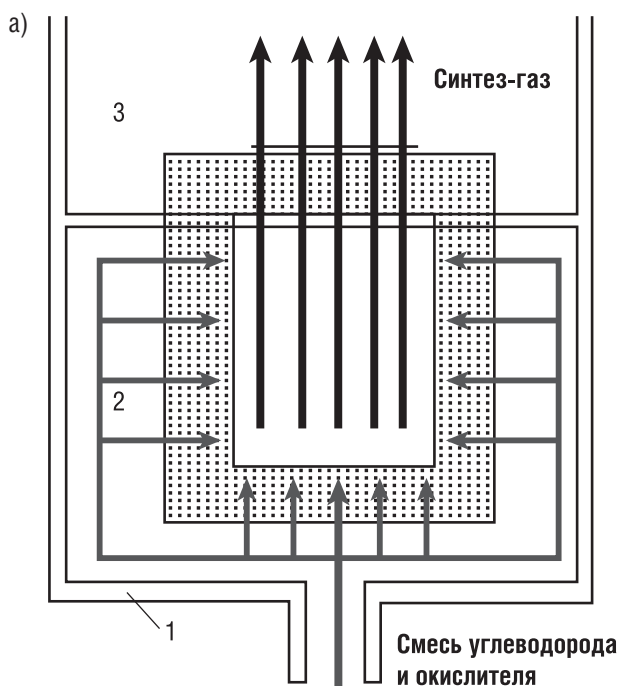
В последнее время большую активность в продвижении своих малых GTL-установок проявляют компании Velocys (дочерняя компания Oxford Catalysts Group) и Compact GTL, делающие ставку на использование компактных микроканальных реакторов. Модульная технология компании Velocys, основанная на использовании микроканальных реакторов как для производства синтез-газа, так и для синтеза Фишера-Тропша, позволяет достигнуть более высокой производительности катализатора и более высокой производительности с единицы объема реактора, чем в известных крупнотоннажных технологиях Oryx GTL и Pearl GTL.

В 2012 году компания Compact GTL совместно с бразильской правительственной нефтяной компанией Petrobras создала на основе микроканальных реакторов в бразильском Научно-исследовательском центре Petroleo Brasileiro S.A. крупную демонстрационную модульную установку синтеза Фишера-Тропша мощностью 20 bpd, способную перерабатывать около 250 м³/час углеводородного газа в синтетическую нефть.

Одно из преимуществ таких модульных GTL-установок заключается в том, что они фактически являются мини-заводами, которые могут монтироваться на различных плавсредствах (кораблях, баржах и т.п.), доставляться к удаленным или труднодоступным источникам газового сырья и запускаться в производство как на суше, так и в открытом море. Однако эти проекты не решают главной проблемы – высокого уровня капитальных и производственных затрат. Например, создаваемая в Бразилии опытно-промышленная модульная пилотная установка компании CompactGTL производительностью по газу 90 млн м³/год ПНГ и объемом производства 45 тыс. т/год синтетической нефти потребовала инвестиции в размере 150 млн долл. США. Таким образом, удельные инвестиции составляют \$170 000 bpd. Поэтому микроканальные технологии, фактически воспроизводящие традиционную схему получения GTL продуктов, вряд ли позволят добиться принципиального снижения их себестоимости.

В качестве альтернативы традиционным методам нами была предложена конверсия углеводородов в синтез-газ на основе проницаемых объемных (3D) матриц [12, 14]. На рис. 6 приведены принципиальная схема, объясняющая работу конвертора на основе проницаемой объемной матрицы, и демонстрационный образец матричного конвертора. Беспламенное горение вблизи внутренней поверхности проницаемой объемной матрицы из-за интенсивного теплообмена фронта пламени с поверхностью протекает при значительно более низкой температуре, чем в традиционных горелочных устройствах. Происходящая при этом рекуперация значительной доли тепла

РИС. 6. Принципиальная схема работы конвертора на основе проницаемой объемной матрицы (а) и демонстрационный конвертор атмосферного давления производительностью до 20 м³/ч по входящему газу (б)



продуктов горения в тело матрицы и далее в свежую топливно-воздушную смесь, и частичное задержание ИК излучения в закрытой полости матрицы позволяют заметно расширить пределы горения, как в сторону бедных, так и богатых смесей.

Существенное расширение предела горения богатых смесей позволяет создать принципиально новый метод конверсии углеводородов в синтез-газ. При оптимальной конструкции конвертора коэффициент избытка окислителя, обеспечивающий стабильное горение, может быть снижен до значения $\alpha = [O_2]/2[CH_4] = 0,35$ и даже ниже, что при высокой, до 80% конверсии метана, обеспечивает в этом некаталитическом процессе высокий выход синтез-газа. На рис. 9б показан демонстрационный конвертор атмосферного давления производительностью до 20 м³ по входящему газу.

К очевидным достоинствам конверторов на основе проницаемых объемных матриц относятся:

- Автотермический характер процесса, не требующего дополнительных источников тепла или энергии;
- Возможность использовать в качестве сырья газообразные углеводороды практически любого состава и даже жидкие углеводороды;
- Большой диапазон допустимой производительности, который может быть реализован как за счет размеров конвертора, так и за счет комбинации необходимого числа однотипных модулей;
- Компактность и высокая удельная термическая мощность (более 40 Вт/см²), удельная объемная производительность на порядок выше, чем у традиционных конверторов, что соответствующим образом снижает металлоемкость и капитальные затраты;
- Простота конструкции и обслуживания, отсутствие катализаторов;

- Отсутствие проблем с образованием сажи на поверхности матрицы и в ее полости;
- Отсутствие особых требований к материалам матрицы, работающим при температуре ниже 1000°C;
- Возможность использовать в качестве окислителя воздух, обогащенный воздух, кислород;
- Возможность работы как при нормальном, так и при повышенном давлениях.

В настоящее время отрабатываются варианты конструкции конвертора для работы при атмосферном давлении, в том числе при окислении обогащенным воздухом и техническим кислородом, и при повышенных давлениях.

К прямым, не требующим предварительного получения синтез-газа, можно отнести следующие методы [12, 15–17]:

- Прямое парциальное окисление природного газа в оксигенаты (метанол, формальдегид, этанол и др.);
- Селективный оксикрекинг тяжелых компонентов C₃–C₇ попутных газов (ПНГ) с получением газомоторного топлива с высоким метановым индексом;
- Парциальное окисление или оксикрекинг углеводородов с последующим карбонилированием и/или олигомеризацией продуктов;
- Окислительная конденсация метана в этан и этилен;
- Галогидирование и оксигалогидирование метана;
- Каталитическая ароматизация метана.

Эти процессы технологически более просты, поэтому более легко адаптируются к небольшим масштабам и отсутствию заводской инфраструктуры. Однако они, как правило, обладают невысокой селективностью, и имеют относительно низкую конверсию за проход через реактор. Но при этом хорошо сочетаются с процессами производства энергии в единые энергохимические



процессы, позволяющие получать одновременно электрическую и тепловую энергию и ценные легко транспортабельные химические продукты, в т.ч. моторные топлива. Во многих случаях можно гибко и оперативно регулировать соотношение между производством энергии и химической продукции.

Такие малотоннажные процессы не предназначены для конкуренции с существующими крупнотоннажными технологиями. Их задача – создать совершенно новые технологические ниши, вовлекая в промышленную разработку тысячи удаленных от трубопроводных систем малодебитных скважин традиционного и нетрадиционного газа, в т.ч. попутный газ, метан угольных шахт и сланцевый газ. Их внедрение должно обеспечить добывающие регионы нефтехимическими продуктами собственного производства, в том числе моторным топливом и жидкими энергоносителями. Такие технологии должны дать новые возможности для экономического и социального развития добывающих регионов, подъема уровня жизни и занятости населения, создания новых рабочих мест за счет развития местных производств на базе химических продуктов переработки газа, обеспечить снижение загрязнения атмосферы углеводородами и продуктами их сгорания, повысить надежность энергоснабжения удаленных регионов.

Оперативная разработка новых процессов для малотоннажной газохимии и малой энергетики на базе нетрадиционных источников газа и быстрого освоение производства такого оборудования могла бы сделать Россию лидером на этом высоко инновационном рынке потенциальным объемом в десятки миллиардов долларов. В противном случае, как это уже было в ряде других отраслей, нам грозит участь самим стать импортерами оборудования, активно разрабатываемого сейчас зарубежными компаниями.

Основой новых альтернативных газохимических процессов могут стать законченные или близкие к завершению результаты НИР отечественных академических и отраслевых институтов. В России в силу специфики ее территориально-климатических и инфраструктурных условий всегда ощущалась потребность в простых малотоннажных технологиях переработки газа. Отставая в области крупнотоннажных газохимических технологий, отечественные специалисты пока сохраняют лидирующие позиции по многим направлениям, связанным с разработкой альтернативных малотоннажных газохимических процессов. При наличии соответствующей поддержки некоторые из этих разработок в течение 1,5–2-х лет могли бы быть доведены до опытно-промышленной стадии. ●

Литература

1. Armor J.N., Key questions, approaches, and challenges to energy today. *Catalysis Today*, 236 (2014) 171–181
2. Takeshita T., Yamaji K. Important roles of Fischer–Tropsch syngas in the global energy future. *Energy Policy* 36 (2008) 2773–2784
3. Левинбук М.И., Котов В.Н. Изменение структуры потребления основных энергоносителей в США – один из вызовов энергетической безопасности России. *Мир нефтепродуктов*. 2013. №9. С. 3–14.
4. Тер-Саркисов Р.М., Ставкин Г.П., Цыбульский П.Г., Степанов Н.Г. «Уровни добычи и запасы низконапорного газа на месторождениях Надым-Пур-Тазовского региона». *Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы комплексного использования низконапорного газа в устойчивом развитии социальной сферы газодобывающих регионов» (Надым, март 2003 года), М., ООО «ИРЦ Газпром», 2003, стр. 17.*

5. Соловьянов А.А. Проблемы использования попутного нефтяного газа в России. *НефтеГазХимия*. 2015. №1. С. 12–16.
6. B.Vora, J.Q.Chen, A.Bozzano, B.Glover, P.Barger. Various routes to methane utilization - SAPO-34 catalysis offers the best option. *Catal. Today*. 2009. V. 141. P. 77–83.
7. Арутюнов В.С. Новые перспективы малотоннажной газохимии. *Газохимия*. 2010. №3 (13). С. 16–21.
8. Hobbs H.O. Jr., Adair L.S. Analysis shows GTL viable alternative for US gas producers. *Oil & Gas J.*, Aug. 6, 2012. p. 68–75.
9. Мирошниченко Д.А., Кессель И.Б. *Материалы конференции Газохимия-2007. ВНИИГАЗ*, 2007.
10. Савченко В.И., Макарян И.А., Фокин И.Г., Седов И.В., Магомедов Р.Н., Липилин М.Г., Арутюнов В.С. Малотоннажные GTL-процессы на базе прямого парциального окисления углеводородных газов без стадии получения синтез-газа. *Нефтепереработка и нефтехимия*, 2013. №8. С. 21–26.
11. Arutyunov V. New prospects of low-scale gas chemistry. *Journal of Physics: Conference Series*, 291 (2011) 012001 (doi:10.1088/1742-6596/291/1/012001).
12. Арутюнов В.С. Окислительная конверсия природного газа. М.: КРАСАНД, 2011. – 640 с.
13. K. R. Roberts. *Syntroleum FT Process and Fuels* // <http://csis.org/files/media/csis/events>.
14. Arutyunov V.S., Shmelev V.M., Rakhmetov A.N., Shapovalova O.V. 3D Matrix Burners: A Method for Small-Scale Syngas Production. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2014. V.53 (5), pp. 1754–1759.
15. Arutyunov V. Low-scale direct methane to methanol – modern status and future prospects. *Catalysis Today*, 2013. V.215. P. 243–250.
16. Арутюнов В.С., Савченко В.И., Седов И.В., Макарян И.А., Шмелев В.М., Алдошин С.М. Новые концепции развития малотоннажной газохимии. *НефтеГазХимия*, 2014. №4. С. 19–23.
17. Arutyunov V.S., Savchenko V.I., Sedov I.V., Fokin I.G., Nikitin A.V., Strekova L.N. New conceptions for small-scale GTL. *Chem. Eng. J.*, 2015. (DOI: 10.1016/j.cej.2015.02.082) (<http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2015.02.082>).

KEY WORDS: *light-duty gas processing, natural gas, chemical technology.*



ГАЗОВЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В НЕПРЕРЫВНОМ РЕЖИМЕ

- Номинальная мощность: 70 – 200 кВт
- Виды топлива: Природный газ, Биогаз, СУГ, Попутный нефтяной газ, шахтный метан и др.

Гарантия 2 года без ограничения моточасов.

info@tedomengines.com, +420 483 363 642

www.tedomengines.com