

НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ МАЛОТОННАЖНОЙ ГАЗОХИМИИ



Владимир Арутюнов, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией окисления углеводородов Института химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, профессор кафедры газохимии РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина

Изменения, происходящие сейчас в мировой энергетике, без преувеличения можно рассматривать как научно-техническую революцию в этой области, крупнейшую за последние полвека после создания атомной энергетики. Еще несколько лет назад подавляющее большинство экспертов уверенно предсказывали достижение в течение ближайших десятилетий пика мировой добычи углеводородов и последующий закат углеводородной энергетики. И для этого были серьезные основания. Ежегодная добыча традиционных ресурсов природного газа практически сравнялась с объемом вновь открываемых запасов (Рис. 1). Для нефти аналогичное событие произошло еще 25 лет назад, примерно в 1985 г. Казалось, что человечество вступило в период абсолютного снижения объема доступных для практического использования углеводных ресурсов.

Пик мировой добычи традиционных ресурсов нефти уже фактически достигнут, а для природного газа прогнозы уверенно предсказывали его достижение в пределах нескольких ближайших десятилетий, и связанное с этим постепенное завершение углеводородной эпохи в энергетике. Это вызвало стремительный рост цен на углеводородное сырье, борьбу за контроль над его источниками и ажиотажный интерес к альтернативным источникам энергии, хотя эти источники в принципе не в состоянии обеспечить глобальные энергетические потребности мировой экономики [1].

Сейчас, спустя всего несколько лет, эксперты столь же уверенно прогнозируют, что углеводородное топливо будет оставаться основой мировой энергетики еще многие десятилетия, по крайней мере, до конца нынешнего века. Что же произошло за эти несколько лет?

Перспективы будущего использования ископаемых видов топлива кардинально изменили три важнейших научно-технических достижения мировой энергетики:

- > Почти двукратное повышение эффективности использования энергии.
- > Освоение технологии добычи нетрадиционных ресурсов «тяжелой» и «глубоководной» нефти.
- > Создание технологии добычи сланцевого и других нетрадиционных ресурсов газа.

В результате, доступные человечеству ископаемые углеводородные ресурсы значительно увеличились, а прогнозируемый период их активного использования расширился минимум до конца текущего столетия. Это неизбежно повысит интерес к использованию и переработке углеводородов и снизит интерес к «альтернативным» источникам энергии.

Повышение эффективности использования энергии позволило ведущим странам значительно снизить удельные затраты энергии на производство товаров и услуг. Например, экономика США, устойчиво (за исключением кризисного 2008 г.) наращивая объем национального ВВП, практически не увеличивает общее потребление энергии. Это позволило за 30 лет вдвое снизить удельное потребление энергии на единицу ВВП (Рис. 2). Аналогичными показателями характеризуется экономика других ведущих стран мира, включая новые экономические державы, в т.ч. Китай. К сожалению, Россия на эту тенденцию вовремя не отреагировала, оставшись в итоге одной из наименее эффективных экономик мира с удельным энергопотреблением в 2–3 раза превышающим среднемировые показатели.

Вторым компонентом энергетической революции стало освоение принципиально новых углеводородных ресурсов. В результате беспрецедентных усилий и инновационного технологического прорыва США сумели освоить углеводородные ресурсы, которые еще несколько лет назад из-за отсутствия технологий их добычи даже не рассматривались как таковые и не учитывались в мировом энергобалансе. Новые технологические возможности позволили США обеспечить себя ресурсами нефти и газа на ближайшие десятилетия [2] и снова восстановить свой контроль над мировым рынком этих продуктов.

С учетом нетрадиционных ресурсов «тяжелой» и «глубоководной» нефти западное полушарие снова доминирует по ее запасам. Причем значительно вырос общий объем доступных ресурсов [3]. Но наиболее впечатляющей новацией в энергетике стало освоение ресурсов сланцевого газа, технологию добычи которых США разработали буквально за несколько лет. Тем самым они превратили эти огромные запасы в реальный и широко доступный энергетический ресурс. Уже в 2009 г. его

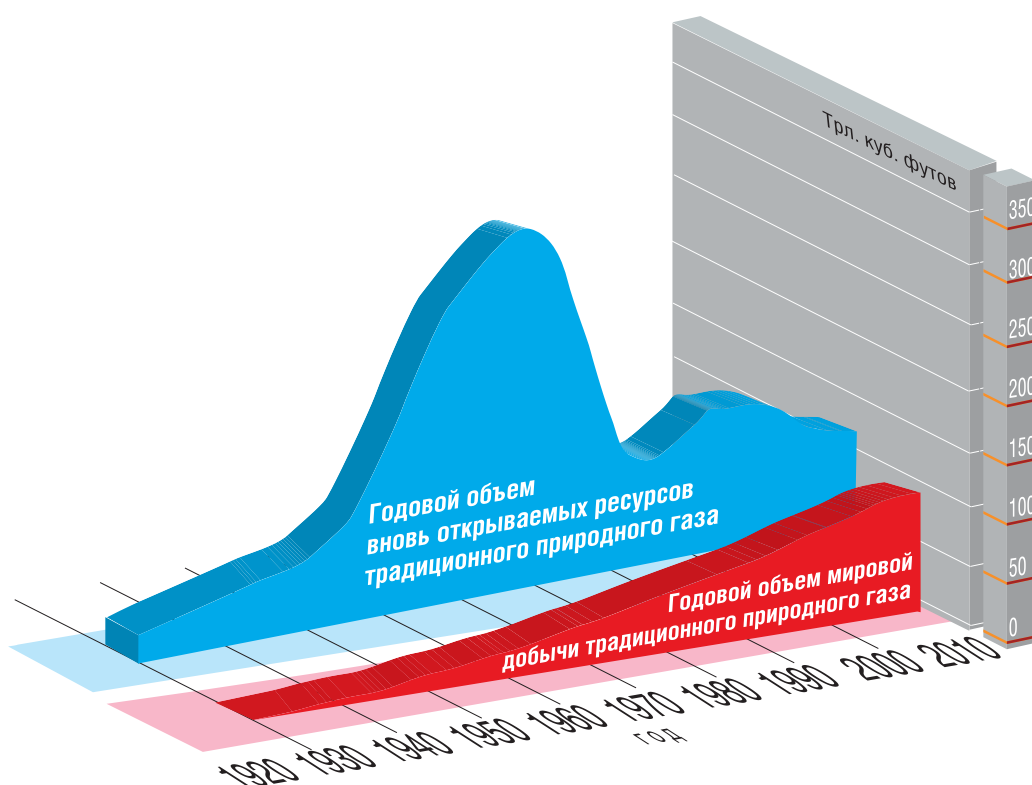


Рис. 1. Годовой объем мировой добычи и вновь открываемых ресурсов традиционного природного газа

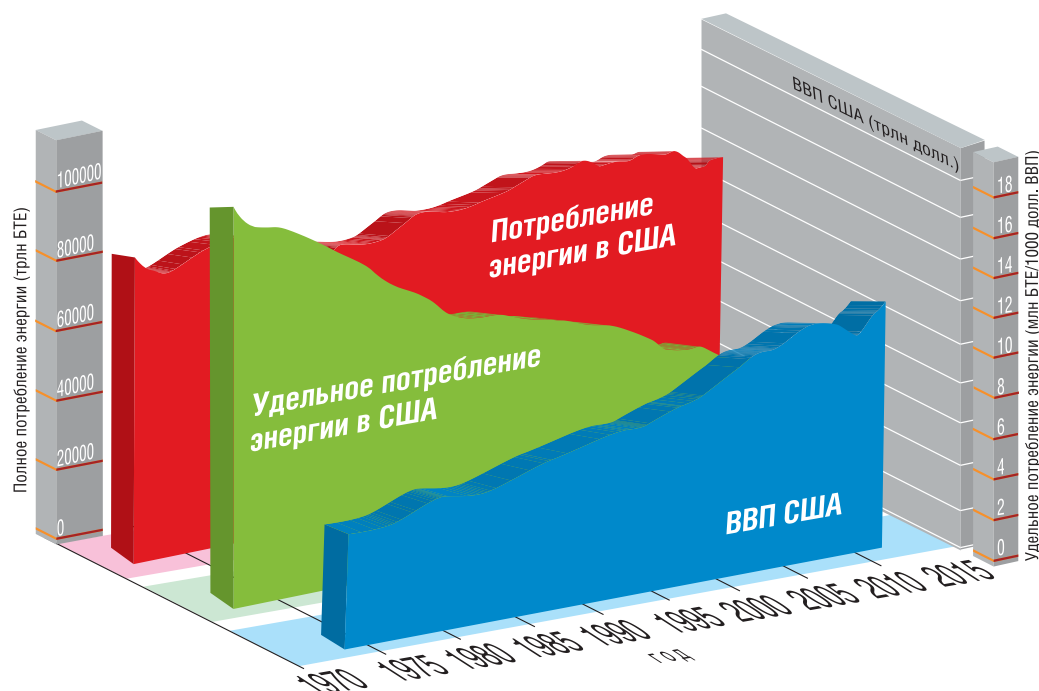


Рис. 2. Показатели эффективности использования энергоресурсов в США: ВВП (трлн долл.), полное потребление энергии (трлн БТЕ) и удельное потребление энергии (млн БТЕ/1000 долл. ВВП)

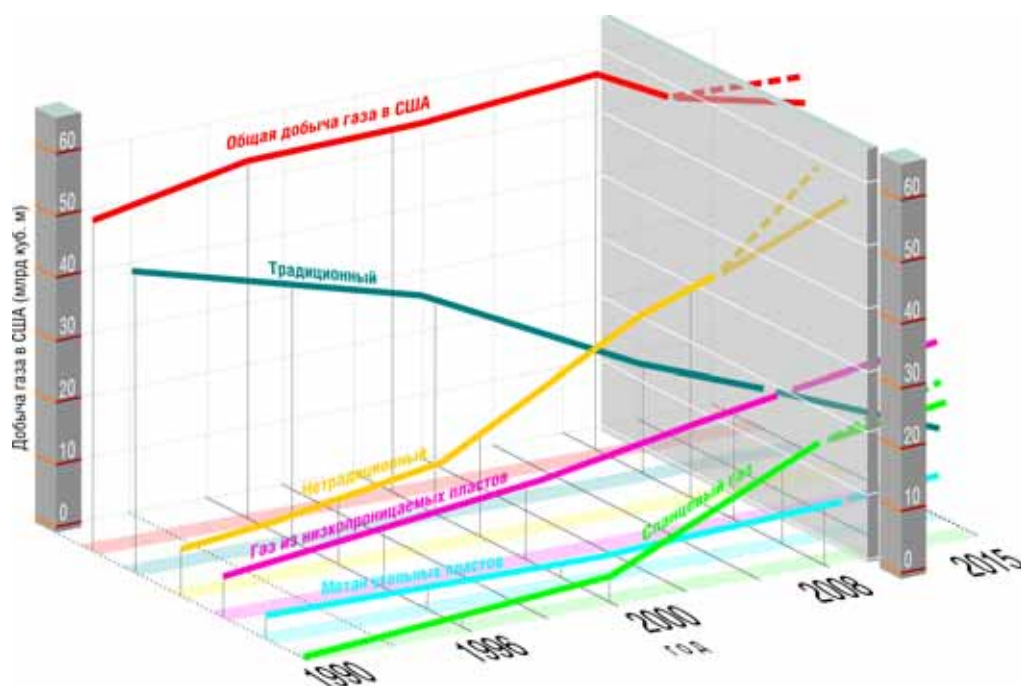


Рис. 3.
Доля различных источников в добыче газа в США [5].

добыча составила 99 млрд куб. м, предварительный итог 2010 г. – 127 млрд куб. м, а прогноз на 2035 г. – 350 млрд куб. м [4].

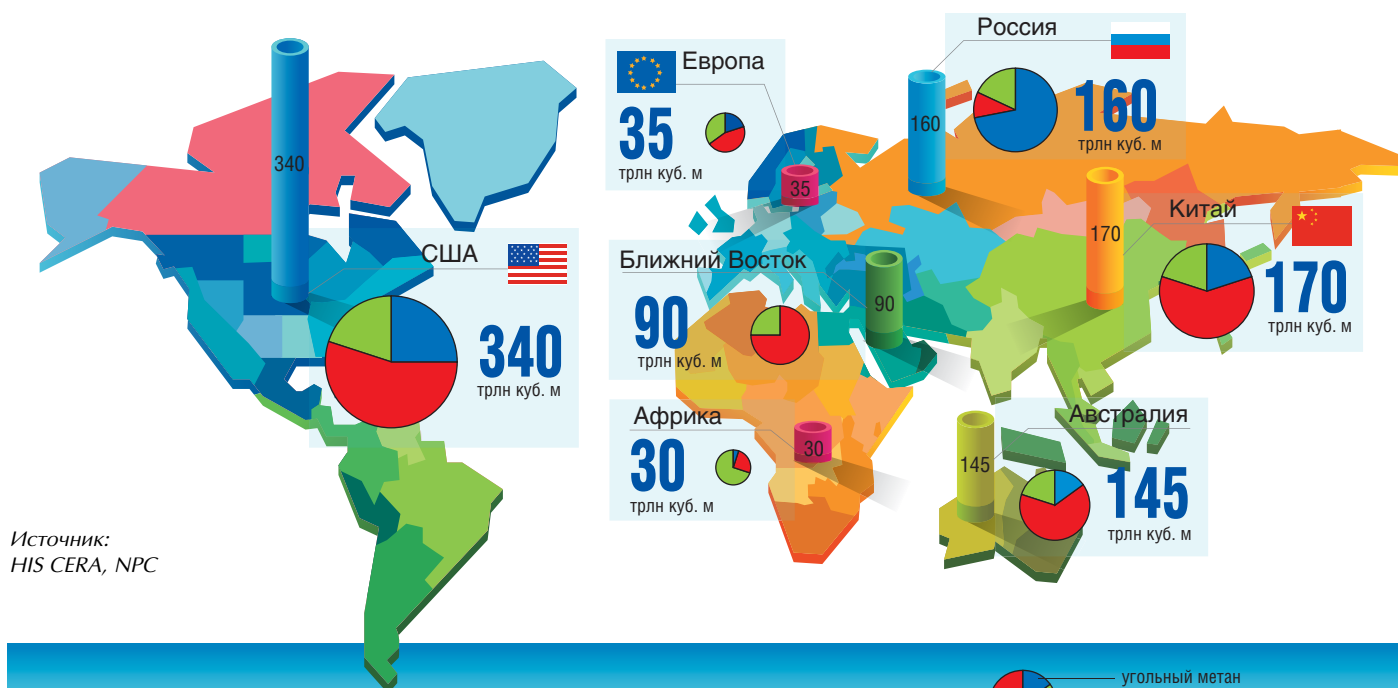
Освоение новых нетрадиционных видов углеводородного сырья позволило США полностью компенсировать падение добычи традиционных энергоре-

сурсов (Рис. 3). А реальная перспектива масштабной добычи сланцевого газа в Европе грозит серьезно подорвать не только гегемонию России на европейском газовом рынке, но и нанести тяжелейший удар ее экономике, ориентированной на экспорт углеводородного сырья.

Согласно оценке Национального нефтяного совета США мировые ресурсы сланцевого газа составляют 460 трлн куб. м, из которых на долю Северной Америки приходится 110 трлн куб. м (24%), на Китай – 100 трлн куб. м (22%) и на страны СНГ – 17,7 трлн куб. м (3,8%) (Рис. 4). Но даже более скромная оценка этих ресурсов в 200 трлн куб. м, приводимая в [6], существенно увеличивает объем доступных человечеству ископаемых углеводородов, отодвигая прогнозируемый период их активного использования до конца столетия.

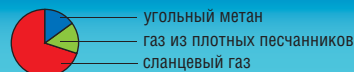
Освоение более широко и равномерно распространенных нетрадиционных ресурсов кардинально меняет геополитическую ситуацию в мире. Они обильны, что делает их на ближайшие десятилетия доступными для подавляющего большинства стран и снимает угрозу глобальной нехватки энергоресурсов. Фактически перечеркивается возможность картельного сговора отдельных стран или группы компаний, на чем до сих пор строилась мировая политика в области торговли энергоресурсами.

Надежды на то, что нетрадиционные ресурсы газа окажутся некон-



Источник:
HIS CERA, NPC

Рис. 4. Распределение нетрадиционных ресурсов газа



курентоспособными по сравнению с традиционными российскими ресурсами, оказались нестоятельными. Уже сейчас в США уровень затрат на бурение и подготовку скважины для добычи сланцевого газа снизился до 4–5 млн долл., срок ее бурения – до нескольких недель и даже дней, а себестоимость добычи – до 120–140 долл./тыс. куб. м. Несмотря на пока еще более низкую себестоимость добычи отечественного газа (~24 долл./тыс. куб. м), огромное расстояние до европейских (2,5–3,1 тыс. км) и тем более азиатских рынков уже сейчас при экспортной цене более 300 долл./тыс. куб. м делает его практически неконкурентоспособным по сравнению с перспективной добычей местных нетрадиционных ресурсов. Поскольку в дальнейшем, по мере истощения относительно легкодоступного западносибирского газа, планируется его замещение значительно более дорогим газом шельфовых и арктических месторождений, конкурентоспособность российского газа на мировых рынках будет падать.

Фактическое закрытие американского рынка для импортного сжиженного природного газа (СПГ) при быстром росте мирового производства СПГ и формирование на этой основе мирового спотового рынка природного газа уже привело к значительному падению цены на газ и снижению западноевропейского импорта российского газа. Следует ожидать дальнейшего вытеснения России с европейского газового рынка. Перспектива адекватной замены европейского рынка азиатским маловероятна в свете наличия значительных ресурсов сланцевого газа в Китае и его жесткой ценовой политики, особенно если он станет фактически монопольным импортером российского газа на восточном направлении.

Есть ли у российской экономики в этой ситуации реальный выход? Безусловно, есть. Вместо дорогостоящего экспорта на далекие мировые рынки углеводородного сырья, делающего его практически неконкурентоспо-

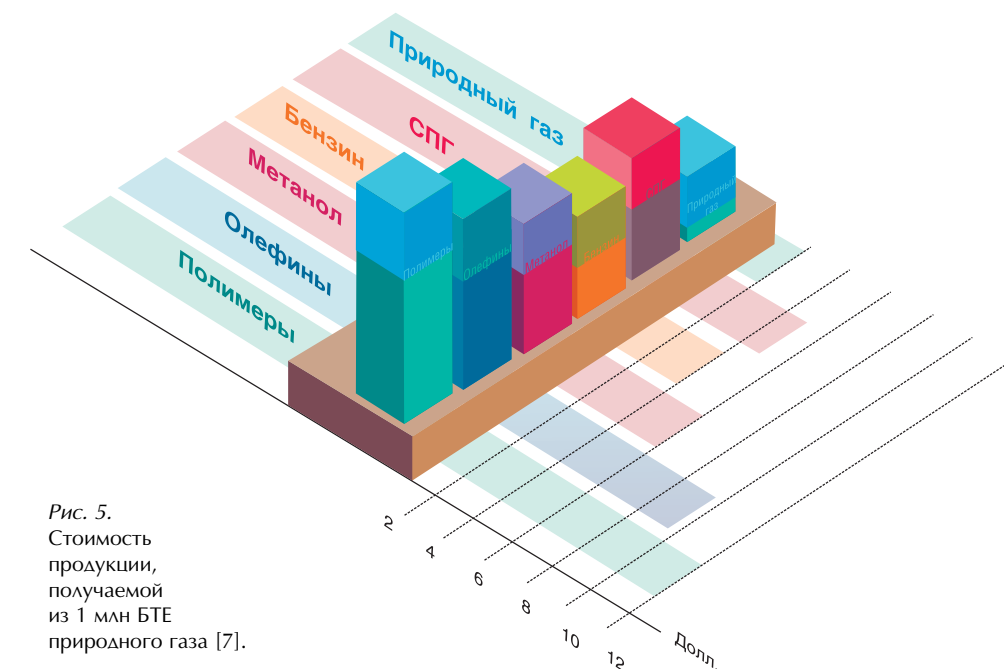


Рис. 5. Стоимость продукции, получаемой из 1 млн БТЕ природного газа [7].

собным, Россия могла бы воспользоваться неоспоримым преимуществом обладания собственным дешевым (в местах его добычи) сырьем. Если бы всего 10% добываемого в стране газа перерабатывалось в первичные химические продукты (олефины и полимеры), имеющие в десять раз более высокую добавленную стоимость и огромный спрос на мировом рынке, уже одно это могло бы обеспечить практически такое же поступление валютной выручки. Не говоря уже о несопоставимо более простой задаче транспортировки этой, в 10 раз меньшей по объему продукции, на мировые рынки. (Рис. 5).

В условиях вероятного сокращения объема экспорта российского газа, снижения экспортных цен и неизбежного роста стоимости его добычи и транспортировки, единственный выход для российской газовой отрасли – всемерное развитие газохимии в местах добычи газа на базе собственного дешевого сырья. Даже простейшая химическая переработка природного газа в олефины и полимеры, имеющие огромный спрос на мировом рынке, позволяет на порядок увеличить его добавленную стоимость, сократить издержки на добычу сырья и транспортировку продукции, снизить зависимость от ко-

лебаний цен на сырье и взаимоотношений со странами-транзитерами, увеличить гибкость и географию поставок. Сейчас все крупнейшие нефтегазодобывающие страны мира резко увеличивают химическую переработку сырья, стремясь перейти на экспорт продуктов с высокой добавленной стоимостью. К сожалению, Россия пока не проявляет практического интереса к переработке своих природных ресурсов, занимая по объему производства нефтехимических продуктов 19-е место в мире (1–2%). Доля нефтехимии в ВВП России составляет всего 1,7%, в то время как в ВВП Индии – 12%, США – 25%, Китая – 30%.

Однако нетрадиционные ресурсы не исчерпываются сланцевым газом. К ним можно отнести огромные запасы угольного метана, попутные нефтяные газы, более 150 млрд куб. м которых ежегодно сжигается в мире [8], низкодебитные и низконапорные месторождения традиционного газа и ряд других его источников. Наблюдаемая в мире тенденция замещения истощающихся традиционных ресурсов природного газа нетрадиционными ресурсами ставит новые технологические задачи в области транспортировки и переработки газа.

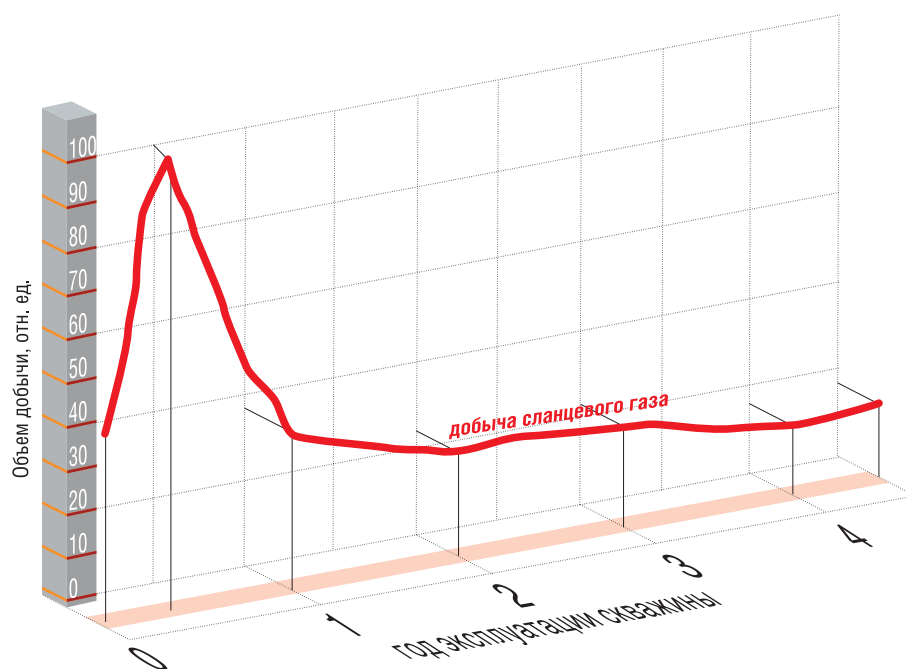


Рис. 6.
Типичная
динамика добычи
сланцевого газа

Основные отличия нетрадиционных источников газа:

- Более широкая распространенность и доступность.
- Пространственная рассредоточенность.
- Низкий дебит.
- Короткий период активной эксплуатации (Рис. 6).

В ряде случаев они имеют большую концентрацию тяжелых гомологов метана. Эти отличия делают необходимым разработку принципиально новых более гибких и малотоннажных технологий переработки и транспортировки газовых ресурсов.

Существующие газохимические технологии, фактически достигшие стадии технологической зрелости, уже близки к исчерпанию своего потенциала развития. При современном уровне цен на сырье их рентабельность обеспечивается за счет гигантских масштабов производства, достигающего миллионов тонн конечной продукции. Согласно технико-экономическим оценкам, учитывая условия российских добывающих регионов, капитальные и операционные затраты будут вдвое выше, что, скорее всего, выведет их уже за грань рентабельности. Для удаленных рос-

сийских газодобывающих регионов, а также для переработки огромных ресурсов нетрадиционных источников газа, включая низкодебитные и низконапорные месторождения, сланцевый газ, угольный метан, попутные нефтяные газы и другие источники, 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 расчетный срок эксплуатации оборудования может в несколько раз превышать активное время жизни источника сырья. Поэтому эти малотоннажные процессы должны базироваться на следующих принципах:

- Полностью заводское изготовление оборудования без проведения на месте строительно-монтажных работ.
- Блочно-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.

Основой таких 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 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 могут быть доведены до опытно-промышленной стадии.

Большинство известных и разрабатываемых газохимических технологий основано на предварительной конверсии углеводородных газов в синтез-газ. Пока только этот путь обеспечивает высокую конверсию исходного газа и высокую селективность образования целевых продуктов.

Однако используемые для этого методы паровой и окислительной конверсии и автотермического риформинга очень сложны и отличаются большой энергонапряженностью. Сейчас на энерго- и капиталоемкую стадию получения синтез-газа приходится до 70% всех затрат на получение продуктов газохимии. Без серьезного снижения затрат на получение синтез-газа трудно ожидать принципиального технологического прорыва в этой области и создания на их базе гибких малотоннажных процессов. Поэтому большие усилия прилагаются для создания альтернативных технологий конверсии природных и попутных газов в синтез-газ. Ниже перечислены некоторые наиболее перспективные направления:

- Получение синтез-газа на основе энергетических технологий.
- Получение синтез-газа и водорода в радиационных горелках.
- Процессы на основе фильтрационного горения.
- Использование проницаемых для кислорода керамических мембран.
- Микроканальные реакторы.
- Окисление метана при миллисекундных временах контакта.
- Электрохимическая конверсия метана в синтез-газ.

Кроме того разрабатываются новые технологии на основе прямых методов конверсии природного газа в химические продукты:

- Окислительная конденсация метана в этилен.
- Прямое окисление метана в метанол и процессы на его основе.
- Каталитическая ароматизация метана.
- Процессы на основе галоидирования и оксигалоидирования метана.

Эти процессы технологически просты, поэтому адаптируются к небольшим масштабам и отсутствию заводской инфраструктуры. Однако они, как правило, обладают более низкой селектив-

ностью и имеют относительно низкую конверсию за проход через реактор. Но они 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. Причем можно гибко и оперативно регулировать соотношение между производством энергии и химической продукции.

Такие малотоннажные процессы не предназначены для конкуренции с существующими крупнотоннажными производствами. Они открывают 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 позволит обеспечить добывающие регионы нефтехимическими продуктами собственного производства, в том числе экологически чистым моторным топливом и жидкими энергоносителями. Появятся новые возможности для экономического и социального развития этих регионов, подъема уровня жизни и занятости населения, создания новых рабочих мест за счет развития местных производств на базе химических продуктов переработки газа, снизится загрязнение атмосферы углеводородами и продуктами их сгорания, повысится надежность энергоснабжения удаленных регионов.

Оперативная разработка новых процессов для малотоннажной газохимии и малой энергетики на базе нетрадиционных источников газа и быстрое освоение производства такого оборудования может сделать Россию лидером на этом высоко инновационном рынке с потенциальным объемом в десятки миллиардов долларов. В противном случае, как это уже было в ряде других отраслей, нам грозит участь самих стать импортерами соответствующего зарубежного оборудования.

Малотоннажные процессы должны базироваться на следующих принципах:

- Полностью заводское изготовление оборудования без проведения на месте строительно-монтажных работ.
- Блочно-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.

Литература

1. Арутюнов В.С. Биотопливо: Pro et contra. Российский химический журнал. 2007. Т. 51. № 6. С. 94–99.
2. Mohr S.H., Evans G.M. Shale gas changes N. American gas production projections. Oil & Gas J. 2010. July 26. P. 60–64.
3. Левинбук М., Капустин В., Завертанова М. Две страны – два подхода. Разнонаправленные векторы развития нефтепереработки США и России. Oil & Gas Journal Russia. Сентябрь 2010. С. 82–87.
4. Эндемик Американское «сланцевое чудо» пока остается только американским. Нефть и капитал. 2011. № 3. С. 18–21.
5. Weijermars R. Price scenarios may alter gas-to-oil strategy for US unconventional. Oil & Gas J. 2011. Jan. 3. P. 74–80.
6. Дмитриевский А.Н., Высоцкий В.И. Сланцевый газ – новый вектор развития мирового рынка углеводородного сырья. Газовая промышленность. 2010. № 8. С. 44–47.
7. Vora B., Chen J.Q., Bozzano A., Glover B., Barger P. Various routs to methane utilization – SAPO-34 catalysis offers the best option. Catalysis Today, 141 (2009) P. 77–83.
8. Elvidge C.D., Baugh K.E., Pack D.W., Milesi C. Satellite data estimate worldwide flared gas volumes. Oil & Gas J., 2007, Nov. 12. P. 50–58.