

Г.К. Лавренченко

Украинская ассоциация производителей технических газов «УА-СИГМА», а/я 271, г. Одесса, Украина, 65026
e-mail: uasigma@paco.net

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР «CH₄-2012»: РАССМАТРИВАЮТСЯ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КПГ И СПГ

В Одессе 21-25 мая 2012 г. был проведён IV-ый международный семинар по проблемам повышения эффективности и безопасности систем производства компримированного (КПГ) и сжиженного (СПГ) природного газа. Проведение семинара по этим актуальным проблемам обусловлено тем, что межотраслевая структура разработки, создания и использования систем производства КПГ и СПГ нуждается в информационно-технической поддержке. В работе семинара приняли участие 60 специалистов, представлявших более 40 предприятий, фирм и научно-исследовательских институтов разных отраслей промышленности из 8 стран мира. Участники семинара прослушали 30 докладов, относящихся к указанным проблемам. Кратко излагается содержание выступлений, уделяется внимание ряду актуальных вопросов. Все участники семинара получили сертификаты о повышении квалификации. По итогам работы семинара принята резолюция. В ней отражены выводы и рекомендации по обсуждавшимся на семинаре проблемам. Семинар прошёл успешно и с высокой активностью его участников.

Ключевые слова: Природный газ. Моторное топливо. Автомобильная газонаполнительная компрессорная станция (АГНКС). Компрессор. Компримированный природный газ (КПГ). Сжиженный природный газ (СПГ). Криогенная ёмкость. СПГ-установка. Биогаз. Криогенная арматура. Компрессорная станция. Безопасность.

G.K. Lavrenchenko

INTERNATIONAL WORKSHOP «CH₄-2012»: PROBLEMS OF CNG AND LNG PRODUCTION ARE CONSIDERED

On 21-25 May, 2012 the IV-th International workshop on the problems of efficiency and safety increase of compressed (CNG) and liquefied (LNG) natural gas production systems was held in Odessa. The workshop on these core issues is caused by the need of interindustry development, creation and use structure of CNG and LNG production systems in information and industrial support. In the workshop 60 specialists took part, they who were introduced by more than 40 companies, firms and research scientific institutes of different industrial branchies from 8 countries of the world. The workshop participants have heard 30 reports concerned to the specified problems. Report content is given shortly, actual issues are paid special attention to. All workshop participants were given the higher qualification certificates. As a result the resolution was accepted in the end of the workshop. It reflected all conclusions and recommendations on discussed problems of the workshop. The workshop was successfully held with high activity of its participants.

Keywords: Natural gas. Motor fuel. Automobile gas-filling compressor station (AGFCS). Compressor. Compressed natural gas (CNG) Liquefied natural gas (LNG). Cryogenic tank. LNG-unit. Biogas. Cryogenic armature. Compressor station. Safety.

1. ВВЕДЕНИЕ

Природный газ (ПГ) — энергоноситель XXI-го столетия. Уже сейчас ПГ находит широкое применение в мировой энергетике, где его доля достигла одной трети. Ожидается, что к 2020 г. на природный газ в общем мировом балансе будет приходиться до 50 %

[1]. Поэтому многие компании уделяют серьёзное внимание созданию оборудования для различных технологических процессов, основанных на эффективном использовании ПГ.

Указанные тенденции стимулируют разработку, изготовление и использование необходимого оборудования в России, Украине и др. странах СНГ. При его

выпуске ориентируются на обеспечение прежде всего всей структуры производства и применения компримированного природного газа (КПГ). Потребители КПГ — различные транспортные средства, например, легковые и грузовые автомобили, автобусы, карьерные самосвалы и сельскохозяйственная техника.

В меньшей степени в перечисленных странах занимаются выпуском оборудования для производства сжиженного природного газа (СПГ), несмотря на наличие у ведущих предприятий высокой научно-технической и технологической готовности. Существенный сдерживающий фактор — отсутствие заказов на такое оборудование и пока ещё низкий интерес у потенциальных потребителей к внедрению современных СПГ-технологий.

Эта ситуация, как можно заметить, уже начинает изменяться в лучшую сторону в РФ. Понятно, что при доступности СПГ можно обеспечить природным газом не только транспорт, но и газифицировать регионы, в которых отсутствует сеть газопроводов.

Разработка систем производства КПГ и СПГ относится к исключительно важным проблемам, которые находятся в сфере повышенного внимания Ассоциации. Для подтверждения сошлюсь на основную цель нашей уставной деятельности, которая состоит в формировании и реализации единой научно-технической политики в области совершенствования установок сжижения и разделения газовых смесей, систем производства низкотемпературных технических газов, обеспечения их эффективной и безопасной эксплуатации.

Знание проблем, осознание их значимости и имеющийся у нас научно-технический задел позволили нам организовать и провести 21-25 мая 2012 г. в Одессе IV-ый международный семинар по актуальным вопросам повышения эффективности и безопасности систем производства компримированного и сжиженного природного газа. Семинар проводился при содействии Института газа НАН Украины, ПАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе», Международной группы «Редкие газы» (г. Москва), ПАО «Одесский припортовый завод», ОАО «Криогенмаш» (г. Балашиха Московской области) и ПКФ «Криопром» ООО (г. Одесса), под эгидой Министерства энергетики и угольной промышленности Украины, Министерства промышленности и торговли РФ, Международной академии холода, Одесской государственной академии холода и при участии Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору России и Государственного комитета по промышленной безопасности, охране труда и горному надзору Украины.

Охарактеризуем актуальность семинара, кратко остановимся на его содержательной части и принятой резолюции.

2. ОЦЕНКА АКТУАЛЬНОСТИ СЕМИНАРА

Ассоциация основательно готовилась к проведению семинара. После предыдущего подобного меро-

приятия постоянно изучалась ситуация; поддерживались контакты с разработчиками и изготовителями оборудования для реализации КПГ- и СПГ-технологий, расширялись проводимые нами собственные исследования [1].

Подготовительная работа и анализ ситуации позволили сформулировать следующие основные признаки, характеризующие актуальность намеченных нами для обсуждения на семинаре проблем:

1. Системы производства КПГ и СПГ являются сложными техническими и технологическими объектами.

2. Назрела необходимость в модернизации газотранспортной системы Украины за счёт внедрения ряда имеющихся разработок для снижения затрат природного газа, обеспечивающего работу компрессорных станций магистральных газопроводов.

3. В связи с ожидаемым увеличением спроса на КПГ в РФ и Украине необходима оценка технологических и энергетических показателей автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) нового поколения; предложений различных компаний по компрессорному оборудованию, блокам осушки природного газа, реципиентам, баллонам и др.

4. Ожидается повышение спроса на СПГ для обеспечения им негазифицированных регионов; использования в качестве криогенного топлива в различных транспортных средствах. Создаваемые для этих целей СПГ-установки должны, наряду с высокими эффективностью и надёжностью, характеризоваться относительно низкими капитальными затратами.

5. Имеется потребность в обобщении опыта перевода АГНКС с чисто компрессорных на криогенно-компрессорные режимы работы для повышения загрузки станций, с одной стороны, и обеспечения более высоких их производительностей в случае повышенного спроса на КПГ, с другой.

6. Необходимо рассмотреть возможности перевода на СПГ кроме автотранспорта, также самолётов, поездов с газотурбовозами.

7. Нуждается в систематизации и анализе имеющаяся информация о технологических схемах и характеристиках СПГ-установок разной производительности и различного назначения, выпускаемых ведущими компаниями мира.

8. В связи с внедрением новых схемных и конструктивных решений, а также нового оборудования в системы производства КПГ и СПГ необходимо рассмотрение возможностей более широкого использования имеющихся наработок, свободного обмена опытом.

9. Следует проанализировать результаты работ по добыче и использованию биогаза.

10. Необходимо рассмотрение альтернативных способов доставки природного газа в сжиженном или компримированном состояниях морским путём.

11. Следует учитывать имеющуюся потребность в более современной нормативной базе, регламентирующей различные аспекты производства и применения КПГ и СПГ.

12. Растут требования к объектам повышенной опасности, к которым в полной мере относятся системы производства и вся инфраструктура использования КПП и СПГ. В связи с этим нужно неукоснительно выполнять положения промышленной безопасности и охраны труда при эксплуатации КПП- и СПГ-установок, а также в процессах применения этих энергоносителей.



Фото 1. Зал заседаний был заполнен в течение всех дней работы семинара. Прекрасная погода и находящийся недалеко от гостиницы морской пляж не могли никого увлечь так сильно, как выступления коллег по обсуждаемым проблемам (а). В президиуме семинара члены его оргкомитета: технический директор ПКФ «Криопром» ООО И.В. Кириченко; генеральный директор ООО «Криомаш-БЗКМ» В.В. Семёнов; директор «НИКИ КМ» ОАО «Криогенмаш» Е.Ю. Тарасова; генеральный конструктор ОАО «Уралкриомаш» О.Я. Черемных; заместитель директора по научной работе Института газа НАН Украины А.И. Пятничко; ректор Одесской государственной академии холода А.С. Титлов (слева направо)

Исходя из указанного, при подготовке программы семинара Ассоциация ориентировалась на таких докладчиков, которые смогли бы глубоко раскрыть перечисленные проблемные вопросы. В целом нам как организаторам семинара удалось совместно с ведущими предприятиями и, конечно, с представлявшими их специалистами реализовать такой подход как к формированию программы семинара, так и к достижению намеченных целей.

3. АНАЛИЗ СОДЕРЖАТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ

СЕМИНАРА

В работе семинара приняли участие 60 специалистов, представлявших более 40-ка предприятий и фирм из Украины, РФ, Германии, Китая, Польши, Словакии, США, Франции и Чехии. Специалисты, прибывшие на семинар, проявляли повышенный интерес к его работе: самим докладам, их обсуждению, проводившимся дискуссиям, контактам с коллегами и др. Деловая обстановка, как можно было заметить, сложилась уже в первый день работы семинара (фото 1).

В ходе первого заседания с приветствиями к присутствующим обратились члены оргкомитета семинара (фото 2 и 3).



Фото 2. Ректор Одесской государственной академии холода, д.т.н., профессор А.С. Титлов в своём выступлении отметил высокую актуальность вопросов, подлежащих обсуждению на семинаре, необходимость и своевременность его проведения, а также пожелал успехов организаторам и участникам семинара

Перед участниками семинара с докладом «Актуальность проблемы семинара «CH₄-2012», его цели и задачи» выступил председатель оргкомитета, д.т.н., профессор Г.К. Лавренченко (фото 4). В нём отмечалось, что Ассоциацией для оказания эффективной помощи предприятиям и внедрения собственных разработок сформирована глобальная отрасль низкотемпературных технических газов (НТГ). Она включает в себя ряд известных традиционных отраслей машиностроения: кислородного и криогенного, компрессорного, холодильного, химического, нефтегазового и энергетического. Три основных признака характерны для глобальной отрасли НТГ: реализация технологий и материалов специального машиностроения при создании оборудования для производства низкотемпературных технических газов; применение низкотемпературных энерготехнологий при производстве и использовании технических газов; узкоотраслевое производство оборудования и широкое его межотраслевое использование. Последний из признаков, кстати, побуждает Ассоциацию организовывать и проводить ряд международных встреч специалистов. К ним нужно отнести и уже состоявшийся семинар, посвящённый анализу проблем производства и использования КПП и СПГ.

В докладе обращалось внимание на то, что вопросы производства и использования КПГ и СПГ должны рассматриваться в тесной связи с общими проблемами повышения эффективности применения природного газа. Хотелось бы несколько подробнее коснуться этой, безусловно, важной проблемы.



Фото 3. С приветствиями к участникам семинара обратились заместитель директора по научной работе Института газа НАН Украины А.И. Пятничко (а) и директор «НИКИ КМ» ОАО «Криогенмаш» Е.Ю. Тарасова (б)



Фото 4. С вниманием был выслушан доклад президента Украинской ассоциации производителей технических газов, председателя оргкомитета Г.К. Лавренченко

Если не затрагивать хорошо известные химико-технологические процессы, в которых расходуют природный газ, а также его применение в быту, то можно обозначить несколько основных направлений

использования газа как энергоносителя для получения работы или электроэнергии, а также теплоты:

1. В энергетических комплексах централизованного производства электроэнергии на электростанциях или одновременного производства электрической и тепловой энергии на ТЭЦ.

2. В котельных установках различной мощности, производящих водяной пар низкого потенциала для отопления или технологических нужд.

3. В качестве моторного топлива в виде КПГ или СПГ.

В первых двух случаях природный газ сжигается с целью получения водяного пара высоких или низких параметров. Этим процессам в той или иной степени свойственна термодинамическая необратимость. Она обусловлена передачей теплоты сгорания природного газа водяному пару при конечных и иногда значительных разностях температур. Для иллюстрации на рис. 5 схематично изображена модель котельного агрегата. Потеря эксергии в котельном агрегате $D_e = T_0 \Delta s = T_0 Q (1/T_n - 1/T_{гр})$, где T_0 — температура окружающей среды; Δs — рост энтропии; Q — теплота, подводимая от сжигаемого газа к воде; $T_n, T_{гр}$ — температуры производимого водяного пара и сгорания природного газа, соответственно. Для оценки значения этой потери примем, что термический КПД котельного агрегата равен 100 % (на самом деле он в зависимости от его типа и производительности меняется от 70 до 90 %) и в нём реализуются эффективные регенеративные процессы. Такой идеализированный агрегат при $T_n = 823 \text{ К}$ имеет эксергетический КПД $\eta_{ex} = 84 \%$ ($d_e = 16 \%$), а при $T_n = 423 \text{ К}$ — $\eta_{ex} = 34 \%$ ($d_e = 66 \%$), где d_e — относительное значение эксергетической потери. Первый случай характерен для современных крупных паротурбинных станций, работающих на паре высоких параметров, а второй — для широко распространенных котельных агрегатов, производящих пар низких параметров для отопления или обеспечения теплотой технологических процессов.

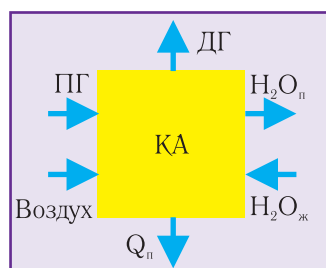


Рис. 5. Материальные и энергетические потоки в котельном агрегате (КА): ПГ — природный газ; ДГ — продукты сгорания (дымовой газ); Q_n — потери теплоты через теплоизоляцию и ограждающие конструкции КА

Из этих примеров следует, что в котельных агре-

гатах, предназначенных для генерации пара низких параметров, крайне неэффективно используется высокий энергетический потенциал природного газа. Оптимальным решением является замена существующих котельных агрегатов на когенерационные установки, которые могут одновременно с высокой эффективностью вырабатывать и электрическую энергию, и теплоту [2].

Ассоциация ведёт поисковые научно-исследовательские работы, имеющие целью существенное повышение эффективности крупных энергетических комплексов, потребляющих природный газ. В основу этих разработок положены результаты наших исследований в области использования термохимической регенерации теплоты сгорания природного газа [3,4].

Продолжая тему эффективного использования природного газа, следует остановиться теперь на таком весьма актуальном направлении, которое можно рассматривать как альтернативу нефтяным видам топлива. В качестве моторного топлива, как известно, в различных транспортных средствах могут применяться и КППГ, и СПГ. Термодинамический анализ показывает, что при использовании их в таком виде исключительно эффективно реализуется высокий энергетический потенциал природного газа. Это обусловлено тем, что из-за сгорания топлива внутри цилиндров, во-первых, существенно повышается верхняя температура термодинамического цикла двигателя, и, как следствие, его эффективность, во-вторых, значительно снижается потеря от необратимости в процессе подвода теплоты.

Основное место в докладе было уделено общим вопросам применения КППГ и СПГ в качестве эффективных энергоносителей. В последнее время наблюдается расширяющееся с каждым годом использование природного газа в различных транспортных средствах. Мировой парк автомобилей, работающих на КППГ, продолжает расти. На 01.03.2012 на КППГ работало 14,73 млн. автомобилей. Общее их количество увеличилось более, чем на порядок по сравнению с мартом 2000 г., опровергая прогнозы о 15 млн. транспортных средств к 2015 г.

КППГ в разной степени, как видно из таблицы, применяется в газобаллонных автомобилях стран мира. На первые четыре страны приходится почти 75 % парка таких автомобилей. Россия и Украина пока существенно уступают лидерам. Украина с 317-ю АГНКС, входившая в предыдущие годы в десятку стран по использованию КППГ на транспорте, сдала свои позиции. Россия, располагая парком АГНКС, насчитывающим 247 единиц. Из них ОАО «Газпром» принадлежат 186 станций, т.е. их большая часть. Их соорудили ещё в советское время (1983-1990 гг.). Из этого количества 156 станций подлежат реконструкции и техническому перевооружению. С этой целью реализуется обстоятельная программа работ по совершенствованию этих станций, созданная ООО «Газ-пром ВНИИГАЗ» [5].

При переводе транспорта на КППГ обычно обращается внимание на три основных преимущества: де-

шевизна, безопасность и экологическая чистота [6]. При сопоставлении природного газа с другими видами топлива учитывается, что 1 м³ природного газа, имеющего расчётное октановое число 104 ед., эквивалентен 1 л высокооктанового бензина. Для замещения, как известно, 1 л бензина пропан-бутановой смесью её требуется 1,2-1,3 л.

Информация о лидерах мирового газомоторного рынка (апрель 2012 г.)

№№ п/п	Страна	Парк ГБА	Парк АГНКС
1	Пакистан	2 851 000	3 300
2	Аргентина	2 044 000	1 902
3	Иран	2 859 000	1 800
4	Бразилия	1 703 000	1 792
15	Украина	389 000	317
16	Россия	103 000	247

Анализ использования КППГ в Украине, показывает, что, к сожалению, начиная со второй половины 2008 г., применение сжатого газа как моторного топлива сварачивается. Основные причины — отсутствие долгосрочной стимулирующей переход на КППГ государственной политики, недостаточное внимание к развитию сети АГНКС и соответствующей инфраструктуры. Снижению интереса у автомобилистов к КППГ способствует и то, что с декабря 2011 г. его стоимость на 10-15 % превышает стоимость заправки транспорта пропан-бутаном (СУГ). Эта ценовая разница не позволяет владельцам машин окупить вложенные в их переоборудование средства в приемлемые сроки. А поскольку основные владельцы ГБА — частники, оптимальными для них считаются сроки окупаемости в один-два года. В действительности, при существующих затратах в Украине на переоборудование автомобиля под КППГ в 1000 долларов США и стоимости 1 м³ сжатого газа на АГНКС срок возврата средств составляет от 4 до 6 лет. Из-за этого некоторые владельцы ГБА переводят автомобили с КППГ на СУГ.

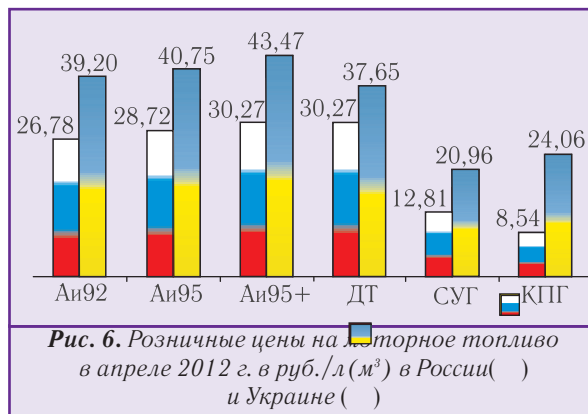


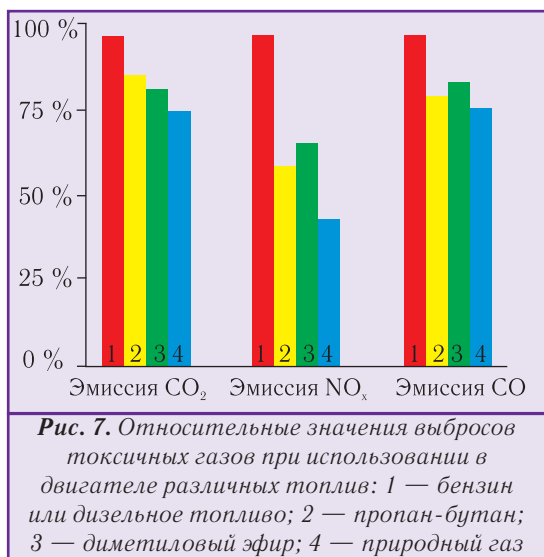
Рис. 6. Различия цен на моторное топливо в апреле 2012 г. в руб./л(м³) в России () и Украине ()

В России ситуация, что касается соотношения цен газ/бензин и КППГ/СУГ, более благоприятна, как видно из рис. 6 [7]. Из информации компании ООО «Газпром трансгаз Ставрополь» [8] следует, что при средней сто-

имости КПП 8,5 руб./м³ окупаемость затрат на переоборудование автомобиля под природный газ происходит примерно после 20 тыс. км его пробега.

На чём нужно сосредоточиться для более широкого использования КПП и в Украине, и в России? Прежде всего необходимо сформировать и гарантированно выполнять государственную программу, подкрепленную по-настоящему действующими законами. В ней должны быть предусмотрены финансовые стимулы для перевода транспорта на КПП, создания широкой сети АГНКС, максимального содействия применению мини-АГНКС индивидуального и гаражного типов. Примером могут служить принятые в США законодательные акты [9]. Они оформлены в виде документа: «Новая транспортная инициатива, предлагающая американцам эффективное решение».

Перевод автотранспорта на КПП облегчит введение норм «Евро-4» и «Евро-5». В случае использования традиционных видов топлива требуется серьёзная доработка и двигателей, и самих автомобилей. Для этого нужно применять каталитические нейтрализаторы, дожигатели, системы рециркуляции и др. Это увеличивает стоимость автомобиля более чем на 10 %. Переход на газовое топливо, как следует из рис. 7, позволяет существенно упростить системы нейтрализации отработавших газов или даже отказаться от их применения [10].

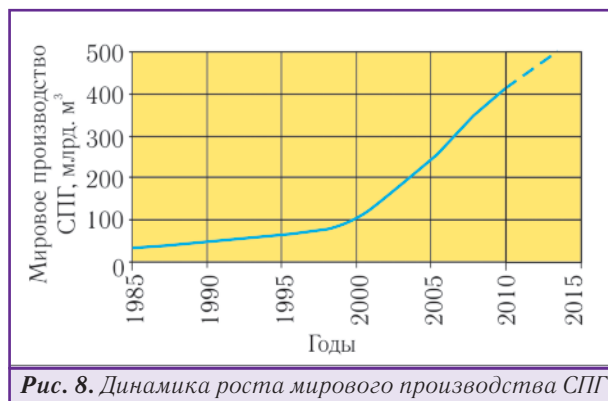


Зарубежный опыт показывает, что эффективность природного газа как газомоторного топлива можно повысить при использовании специального, а не конвертированного под газ двигателя. Автомобиле- и моторостроительные заводы РФ и Украины, к сожалению, пока не производят серийно газовые двигатели как транспортного, так и стационарного назначения. Зарубежные компании, напротив, уже несколько лет выпускают и газовые двигатели, и автомобили, комплектуемые ими. Сейчас при переходе на газ приспособливают конкретный двигатель для работы по газовому циклу с получением интегральных характеристик по крутящему моменту и мощности,

близких к прототипу. Этого, конечно, недостаточно для создания высокоэкономичных, малотоксичных и надёжных двигателей. А ведь с газовых двигателей началась история создания автомобилей. Следует вспомнить, что исполняется 190 лет со дня рождения выдающегося изобретателя француза *Этьена Лепуара* [11]. Ему был выдан патент на первый двигатель внутреннего сгорания. В то время его двигатель работал на газовом топливе — светильном газе. Бензин тогда ещё не производился. Он был использован лишь спустя два десятилетия, когда *Г. Даймлер* создал новый ДВС.

В докладе были проанализированы некоторые недостатки, свойственные КПП, которые снижают его привлекательность как газомоторного топлива. Приведём только три из них: неудовлетворительные массогабаритные характеристики применяемых баллонов высокого давления как в бортовых топливных системах, так и в передвижных автомобильных газовых заправщиках (ПАГЗ) по сравнению с массой перевозимого топлива; низкий коэффициент выдачи транспортируемого газа из ПАГЗ, не превышающий обычно 0,65, хотя следует отметить, что уже появляются заправщики с компрессорами в их составе; низкая плотность сети АГНКС.

Более широкому применению природного газа, как отмечалось в докладе, может способствовать его использование в сжиженном виде (рис. 8). СПГ — криогенная жидкость, которая при нормальных условиях кипит при 111 К (−162 °С). При сжижении объём газа снижается более чем в 600 раз, что эквивалентно его сжатию до давления выше 1000 кгс/см². В одинаковом объёме в 3 раза больше содержится СПГ, чем КПП при давлении 150 кгс/см², что способствует увеличению пробега автомобиля на одной заправке. Топливные системы многих транспортных средств (особенно большегрузных), использующих СПГ, характеризуются по сравнению с аналогичными системами на КПП существенно меньшей массой. Например, грузовик ЗИЛ-138А, конвертированный под природный газ и укомплектованный криогенным баком ёмкостью 300 л СПГ, имеет пробег в 1,8 раза больше, а суммарную массу оборудования и топлива на 570 кг меньше в сравнении с его работой на КПП.



Следует констатировать, что, к сожалению, в Украине СПГ-технологии пока не получили развития. В России в последние годы стали больше заниматься использованием СПГ на транспорте. Укажу на несколько перспективных разработок. В России проведены успешные испытания газотурбовоза ГТ1-001, работающего на СПГ (фото 9). Кривоколовоз позволяет проводить поезд общей массой 20 тыс. т. Запас хода — 1000 км при заправке в криобаки 17 т СПГ. Полная мощность газотурбинного двигателя — 8,3 МВт, скорость газотурбовоза — 100 км/ч. Газотурбовоз создаёт более низкую нагрузку на окружающую среду. Так, выбросы газовой турбины соответствуют нормам, которые будут вводиться для локомотивов в Европе только в конце 2012 г.



Фото 9. Газотурбовоз ГТ1-001 в процессе ходовых испытаний

В России в течение более 20-ти лет проводятся работы по применению СПГ как эффективного энергоносителя в авиации. После успешного использования в качестве топлива водорода (15.04.1988 г.) и СПГ (18.01.1989 г.) в самолёте Ту-155 в КБ «Туполев» разработан ряд самолётов для полётов на СПГ. В самолёт Ту-334К (фото 10) заправляются 7 т СПГ и 2 т авиакеросина для создания аэронавигационного запаса при полёте на расстояние до 2000 км с 102-мя пассажирами.



Фото 10. Самолёт Ту-334К

РФ стала членом всемирного клуба крупнотоннажного производства СПГ [12]. Успешно функционирует комплекс «Сахалин-2» по ожижению ПГ (фото 11). Подготовка, переработка и сжижение газа осуществляются на двух параллельных технологических линиях производительностью по 4,8 млн. т СПГ в год. В Японии для комплекса построены три однотипных метановоза на 145 тыс. м³ СПГ каждый. Пос-

ле выхода на проектную мощность комплекс будет производить около 24 млн. м³ СПГ в год.

В России начато строительство 12-ти заводов по производству СПГ. Из них только половина объектов (Калининград, С.-Петербург, Ярославль, Пермь, Екатеринбург и Владивосток) сооружается Газпромом. Заводы имеют разное назначение. Некоторые предназначены для экспорта СПГ, другие — для газификации регионов, локальное энергообеспечение, использование СПГ на транспорте.



Фото 11. Морская платформа для добычи природного газа комплекса «Сахалин-2» (а); загрузка СПГ в морской метановоз (б)

В Украине с целью диверсификации поставок ПГ приступают к строительству СПГ-терминала в порту Южном, вблизи Одессы. На первом этапе к причалу терминала будет пришвартована плавучая установка FSRU для приёма, хранения и регазификации СПГ с производительностью 5 млрд. м³/год ПГ. На втором этапе будет создан береговой комплекс с общей мощностью 10 млрд. м³/год ПГ. Объём хранилища составит 540000 м³ СПГ. Терминал сможет принимать метановозы ёмкостью 180000 м³ СПГ. Сметная стоимость работ по сооружению терминала — € 846 млн.

После пленарного заседания началось обсуждение докладов.

Первым на семинаре выступил зам. директора «НИКИ КМ» ОАО «Криогенмаш», профессор И.Ф. Кузьменко (фото 12). В докладе, который удалось заранее опубликовать [13], было уделено внимание рассмотрению особенностей СПГ-установок, производимых или разрабатываемых компанией «Криогенмаш» — лидером российского криогенного машиностро-

ния. Более 10-и установок малой производительности, в которых реализуются дроссельно-эжекторные циклы высокого давления, поставлены компанией в Китае. При производительности 1,5; 2,5 и 3 т/ч продукта удельные затраты в них составляют 0,616 ... 0,753 кВтч/кг СПГ. В СПГ-установках средней производительности компания намерена применять для ожижения ПГ внешние азотные холодильные циклы с несколькими турбодетандер-компрессорными агрегатами. Удельный расход энергии в них ожидается на уровне 0,45-0,49 кВтч/кг СПГ. Компания производит эффективное криогенное оборудование для инфраструктуры распределения и использования СПГ. Выпускаются резервуары хранения СПГ ёмкостью от 5 до 250 м³ и полуприцеп-цистерна вместимостью 30 м³ СПГ. Сейчас ведётся разработка подобного перевозчика СПГ на 45 м³ продукта.



Фото 12. «Прошло более 30 лет с той поры, когда в стране директивно были начаты работы по внедрению СПГ. К сожалению, из-за известных событий 80-90 гг. их пришлось приостановить, тем самым сведя к нулю усилия тысяч специалистов.

Только сейчас появляются возможности возрождения направления по использованию СПГ, хотя нынешние ресурсы и масштабы работ сильно сократились. Несмотря на это, ОАО «Криогенмаш», располагая современной научной-конструкторской и производственной базой, может создавать высокоэффективные СПГ-установки и необходимое стационарное и транспортное оборудование для широкого внедрения СПГ-технологий», — так завершил выступление И.Ф. Кузьменко.

С двумя докладами на семинаре выступил главный научный сотрудник ООО «ГазпромВНИИГАЗ» (г. Москва), д.т.н., профессор С.П. Горбачёв (фото 13).

В первом из них были представлены разработанные компанией способы совершенствования технологии сжижения природного газа на газораспределительных станциях с получением СПГ высокой чистоты. Предложена двухпоточная схема СПГ-установки, в которой от CO₂ очищается только продуктовый поток. При использовании этой схемы в дроссельно-детандерной установке в 8-10 раз снижается стоимость системы очистки. Для получения более чистого СПГ, например, с содержанием 99,99 % метана, 50 ppm CO₂ и практическим отсутствием высококипящих компонентов, предложено применять фракционное

испарение продукта с переконденсацией пара.

Следующий доклад С.П. Горбачёва посвящен анализу пожарной безопасности объектов малотоннажного производства и потребления СПГ. В нём была дана их характеристика. Например, к малотоннажным относятся указанные объекты с количеством СПГ, не превышающим 200 т, при единичном объеме криогенного резервуара не более 100 м³ и с избыточным давлением в криогенных резервуарах до 0,8 МПа. Основное место в докладе заняло обсуждение исследования влияния противопожарных резервуаров на величину потенциального риска при различных способах ограничения воспламенения СПГ.



Фото 13. Во втором докладе С.П. Горбачёва, вызвавшем повышенный интерес у аудитории, были приведены результаты испытаний нового защитного заграждения с системой подавления горения природного газа. Показано, как при рекомендуемом потенциальном риске в 10⁻⁸ существенно уменьшаются противопожарные разрывы в случае ограничения воспламенения газа. Например, при использовании криогенного резервуара для СПГ с ёмкостью в 50 м³ противопожарные разрывы при исключении воспламенения жидкости могут быть снижены со 150 до 12 м. Внедрение предлагаемых решений, как отметил докладчик, позволит не только обеспечить пожарную безопасность систем хранения СПГ, но даст возможность устанавливать их на меньших площадях

В докладе технического директора ОАО «Национальные газовые технологии» (г. Екатеринбург) А.В. Холоднова (фото 14) сообщалось о разработке типового проекта автомобильной СПГ-КПГ заправочной станции. Обращалось внимание на преимущества таких станций, сокращенно называемых СКПГ: они могут функционировать в наиболее выгодных местах, например, у главных дорог, независимо от наличия газопровода; затраты на их эксплуатацию в 13 раз ниже по сравнению с традиционными АГНКС; требуемые для их сооружения инвестиции на 25-30 % меньше, чем для сопоставимых с ними компрессорных станций. Специалистами компании разработан типовый проект СКПГ-станции CN-100-10-3/25 на 100-150 заправок автомобилей КПГ и 10 заправок СПГ в сутки. Проектом предусмотрено использование криогенной

ёмкости на 25 м³ СПГ и атмосферных испарителей производства компании «Chart Fegox» (Чешская республика); криогенных поршневого и погружного насосов, заправочной колонки для СПГ — компании «Vanzetti» (Италия). Доставка СПГ на территорию станции будет осуществляться криогенными автоцистернами. При разработке генерального плана противопожарных разрывов учитывались требования ПБ 08-342-00. В целом хорошо проработанный типовый проект соответствует действующим нормативным документам РФ и стандартам ОАО «Газпром». В него заложены передовые технические решения и совершенное оборудование ОАО «НГТ», а также указанных партнеров компании.



Фото 14. В докладе А.В. Холоднова отмечалось, что в России создалась благоприятная ситуация, способствующая широкому внедрению автомобильных СПГ-КПГ заправочных станций. Согласно Постановлению правительства РФ №37 от 27.01.2012 г. расходы на сжижение, транспортирование и хранение СПГ могут включаться в тарифы на сетевой ПГ. На основании этого стоимость газа для конечного потребителя не будет зависеть от способа его доставки. Таким образом, Постановление будет инициировать развитие малотоннажного производства и потребления СПГ

С вниманием был выслушан доклад директора ЗАО Научно-производственная компания «НТЛ» (г. Верхняя Салда Свердловской области) Г.С. Горячева (фото 15). В выступлении сообщалось о результатах работы компании, во-первых, по модернизации инфраструктуры компрессорных установок АГНКС, во-вторых, по созданию оборудования для производства СПГ, интегрированного в состав АГНКС [14]. В соответствии с программой модернизации станции были разработаны, изготовлены и смонтированы новые эффективные теплообменники для межступенчатого охлаждения компримированного природного газа. Была переделана система охлаждения тосола. В результате удалось снизить удельные затраты электроэнергии на производство КПГ в среднем на 10-15 % со сроком окупаемости 2-3 года и повысить ресурс работы компрессорного оборудования за счёт смягчения его температурного режима. Для расширения области применения АГНКС было разработано и инте-

рировано в состав станции оборудование для производства СПГ. Созданный СПГ-комплекс введён в опытно-промышленную эксплуатацию с загрузкой до 20 ч в сутки. Производительность комплекса — 580-620 кг СПГ/ч, удельные затраты — 0,95-0,97 кВтч/кг СПГ.



Фото 15. Из доклада Г.С. Горячева следует, что проведённые специалистами компании совместно с ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» и ООО «Газпром трансгаз Ставрополь» работы по модернизации нескольких АГНКС подтвердили повышение их эффективности при сравнительно небольших затратах и возможность значительного расширения сферы применения существующих станций. Использование материальной базы АГНКС для малотоннажного производства СПГ повысит их рентабельность, существенно снизит капитальные затраты на создание совместимой с оборудованием станции СПГ-установки и приблизит производство СПГ к непосредственному потребителю

В ходе семинара неоднократно затрагивались проблемы повышения эффективности компрессорного оборудования, создания новых компрессоров с различными типами приводов. Ответом на многие вопросы явились два доклада специалистов известного предприятия — ПАО «Сумское НПО им. Фрунзе» [15, 16].

Первый из них сделал ведущий конструктор предприятия С.И. Верныдуб (фото 16). В выступлении были отражены особенности компрессоров для биогаза; попутного нефтяного газа; природного газа, добываемого из малодебитных скважин; топливного газа и шахтного метана. Перечисленные компрессоры в зависимости от условий их эксплуатации комплектуются различными приводами. Присутствующим заинтересовала информация о создании новых быстроходных оппозитных компрессорных баз М10А и М25А с числом оборотов 1000 мин⁻¹. Использование этих баз в конструкциях новых компрессорных машин позволит уменьшить их массы и габариты при удовлетворительных прочностных и динамических характеристиках, обеспечивающих надёжную работу. Второй доклад касался обстоятельного анализа эффективности блочно-комплектной турбокомпрессорной установки (ТКУ) природного газа с газотурбинным приводом [16]. Тема данного исследования очень актуаль-

на, так как предприятие представляет собой основного производителя в СНГ крупных газоперекачивающих агрегатов, которыми комплектуются компрессорные станции магистральных газопроводов. Для дальнейшего совершенствования конструкций и методов проектирования ТКУ необходимо проведение термодинамического анализа совокупности всех рабочих процессов. Для оценки общей эффективности ТКУ и отдельных процессов, реализуемых в ней, использовался эксергетический метод анализа. Объектом исследования являлась одна из пяти ТКУ ПГ, работающая в составе дожимной компрессорной станции «Газли» (Узбекистан). Каждая ТКУ комплектовалась газотурбинным приводом мощностью 25 МВт. Термодинамические расчёты подтвердили относительно высокое значение эксергетического КПД, который в расчётном проектном режиме составлял 0,217. В фактическом режиме работы КПД уменьшается до 0,194. В процессе исследований определялась не только интегральная эффективность ТКУ, но и эффективность отдельных её элементов, что позволяет в дальнейшем учитывать влияние каждого элемента на эффективность блочно-комплектной ТКУ и осуществлять её технологическое проектирование, а также конструирование оборудования, входящего в её состав с учётом требований к энерго- и ресурсосбережению.



Фото 16. «Высокими темпами растут потребности в энергоносителях. С целью увеличения их добычи необходимо осваивать ещё недостаточно разрабатываемые источники углеводородных газов. К ним можно отнести биогаз полигонов бытовых отходов, попутный нефтяной газ, шахтный метан. Для извлечения и переработки этих газов требуются различные поршневые компрессоры. Разработкой и изготовлением таких эффективных компрессоров занимается наше предприятие», — сказал в начале выступления С.И. Верныдуб

ООО «НТК «Криогенная техника» (г. Омск) — изготовитель широкого ряда оборудования для реализации эффективных КПП- и СПГ-технологий [17]. Присутствующие в зале заседаний участники семинара с вниманием выслушали выступление начальника НИС этого предприятия, к.т.н. *Е.И. Рогальского* (фото 17). В докладе приводились характеристики хорошо востребованного оборудования, выпускаемого

предприятием для использования КПП и СПГ в качестве эффективного моторного топлива на транспорте и для газификации населенных пунктов, не подключенных к централизованным газовым сетям. Для реализации СПГ-технологий предприятие изготавливает различные криогенные ёмкости, хранилища и резервуары для наземного размещения, а также транспортные полуприцепы-цистерны и криогенные ёмкости, устанавливаемые на шасси автомобилей. Более широкому применению КПП способствуют производимые предприятием передвижные автомобильные газонаполнительные компрессорные станции и автомобильные газовые заправщики.



Фото 17. Обращаясь к участникам семинара, *Е.И. Рогальский* ещё раз подчеркнул: «Предприятие располагает широкой номенклатурой изделий, которые могут применяться при создании СПГ- и КПП-инфраструктур. Нами накоплен богатый опыт, на основе которого возможно решение различных научных и инженерно-технических задач в области создания оборудования для природного и других технических газов. Предприятие готово к сотрудничеству по поставке как уже освоенных, так и новых изделий нуждающимся в них организациям»

На семинаре были заслушаны три содержательных доклада, подготовленных специалистами различных структур ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург». В них излагается опыт компании по созданию объектов производства и использования СПГ. В первом докладе, сделанном заместителем начальника управления «Энергогазремонт» *А.В. Андрюковым* (фото 18), обсуждался ряд проблем, с которыми приходится сталкиваться при проектировании объектов СПГ. Докладчиком были перечислены основные действующие нормативные документы, которые необходимо использовать при проектировании малотоннажного производства СПГ и применения его на объектах потребителей. Причём ряд важных документов еще не введен в действие. Некоторые из них дают существенно отличающиеся значения. Для иллюстрации были приведены результаты расчётов минимальных расстояний по первой редакции СП «Объекты малотоннажного производства и потребления СПГ. Требования пожарной безопасности». Сейчас этот документ проходит утверждение в МЧС РФ. Подоб-

ные расчёты проводились и по ПБ 08-342-00 «Правила безопасности при производстве, хранении и выдаче СПГ на ГРС магистральных газопроводов и АГНКС». В случае использования криогенного резервуара для СПГ ёмкостью 50 м³ расчётно определённые расстояния отличались от 43 до –18 %.



Фото 18. «Работа по совершенствованию нормативной документации в области малотоннажного производства и потребления СПГ позволит реально приступить к широкомасштабному внедрению в России принципиально нового подхода к газификации отдалённых регионов и применению СПГ для развития сети АГНКС с экономией отраслевых и бюджетных ресурсов», — подытожил своё выступление А.В. Андрюков

Второй доклад, с которым выступил главный инженер Управления «Уралавтогаз» (г. Екатеринбург) *Н.А. Попов* (фото 19), назывался: «Малотоннажное производство СПГ и область его применения. Опыт ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург». Знакомство с работами этой компании в области создания и эксплуатации СПГ-оборудования показывает, что ею действительно накоплен большой опыт, который может заинтересовать многих специалистов. Так, компания для производства СПГ использует две установки. Одна из них работает в составе АГНКС города Первоуральска с производительностью 0,8 т/ч СПГ. Вторая установка для получения 3 т/ч СПГ эксплуатируется на ГРС. С помощью этих установок компанией успешно решаются задачи обеспечения СПГ экспериментального газотурбовоза ГТ1-001, автотранспорта, котельной в санатории-профилактории, а также — природным газом п. Староуткинск. Наличие СПГ позволяет проводить ремонт газопровода без прекращения газообеспечения ряда потребителей.

В третьем докладе, с которым выступил начальник АГНКС г. Первоуральска Свердловской области *А.В. Желтобрюхов* (фото 20), рассказывалось о реализации пилотного проекта по газификации с помощью СПГ п. Староуткинск. При обосновании этого проекта предложенное решение сравнивалось с вариантом сетевого снабжения. Для этого от ГРС г. Первоуральска до Староуткинска нужно было проложить газопровод длиной 72 км. Сравнение только капитальных вложений показывает, что газопроводный вариант требует затрат в 652 млн. руб. против затрат

на снабжение газом через СПГ-технологии в 248 млн. руб. Если учитывать дополнительно и эксплуатационные расходы, то становится ясно, что стоимость 1 м³ газа при реализации пилотного проекта будет в 2,7 раза ниже в сопоставлении с газотрубопроводным вариантом. В настоящее время всё подготовлено для альтернативной газификации поселка Староуткинск.



Фото 19. Предприятие ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» занимает лидирующие позиции в России по созданию малотоннажных производств СПГ. В выступлении *Н.А. Попова* был обобщен накопленный компанией опыт эксплуатации криогенного оборудования и разнообразного использования СПГ. Докладчик охарактеризовал созданные СПГ-установки, остановился на областях наиболее эффективного применения СПГ



Фото 20. «Проведению работ по газификации с помощью СПГ посёлка Староуткинск, — сообщил *А.В. Желтобрюхов*, — способствовало подписание в 2010 г. Соглашения о сотрудничестве между Правительством Свердловской области и ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» о расширении использования КПГ в качестве моторного топлива и СПГ для безтрубопроводной газификации объектов. После этого в феврале 2011 г. Министерством энергетики и ЖКХ Свердловской области в качестве объекта для реализации пилотного проекта по альтернативной газификации был выбран Староуткинск»

На семинаре были заслушаны два доклада от ООО «НПО Мониторинг» (г. Москва). Первый из них о построении автогазозаправочных комплексов

комбинированного типа с применением криогенного насоса и атмосферных испарителей сделал генеральный директор, к.т.н. *Н.В. Павлов* (фото 21). В его выступлении была проанализирована схема автозаправочной станции комбинированного типа. Для обеспечения её работы предусмотрена регулярная доставка СПГ полуприцепами или криогенными цистернами. Для приёма СПГ могут использоваться стационарные ёмкости компании «VRV Group» (Италия) с вместимостью от 10 до 200 м³. В комплект оборудования станции входят центробежные и поршневые насосные агрегаты производства компании «Cryostar SAS» (Франция); криогенная арматура компании «Herose» (Германия); ресивер КПГ высокого давления из моноблоков на базе баллонов компании «Worthington» (Австрия); заправочные колонки для КПГ и СПГ таких компаний, как, например, «Метания» (Россия), «Cryostar».

Второй доклад был сделан техническим директором компании *К.А. Ивановым* (фото 22) об атмосферных испарителях [18]. С целью сокращения энергозатрат на газонаполнительных и автозаправочных станциях компания разработала типоразмерный ряд испарителей высокого давления. Для производства таких испарителей освоена технология сборки биметаллической оребренной трубы на основе бесшовной калиброванной нержавеющей трубы, обеспечивающей необходимые прочностные характеристики проточных каналов испарителя, и алюминиевого профиля с развитой поверхностью теплообмена. Сборка биметаллических труб и испарителей на их основе осуществляется на собственных производственных площадях компании. Для удовлетворения потребностей рынка разработан ряд испарителей высокого давления ИВ производительностью до 610 нм³/ч по азоту.



Фото 21. *Н.В. Павлов в выступлении назвал две основные причины, сдерживающие рост количества АГНКС. Это, во-первых, их жёсткая привязка к трубопроводам природного газа, во-вторых, большие издержки при производстве КПГ. Наиболее перспективный путь увеличения объёма использования газа в транспортных средствах — создание станций комбинированного типа, где исходным энергоносителем является СПГ. На таких станциях возможна заправка автомобилей как СПГ, так и КПГ с малыми затратами энергии*



Фото 22. *К.А. Иванов в ходе выступления охарактеризовал область применения производимых компанией эффективных атмосферных испарителей: «Данный тип испарителей может использоваться для газификации продуктов разделения воздуха и СПГ под давлением до 25 МПа на баллонных наполнительных станциях, на АГНКС при заправках транспорта, работающего на сжатом природном газе. К ним проявляется интерес в нефтегазовой промышленности для подачи газообразного азота в нефтеносный пласт под высоким давлением»*

В выступлении генерального конструктора ОАО «Уралкриомаш», к.т.н. *О.Я. Черемных* (фото 23) была дана оценка современного состояния работ по созданию транспортного и стационарного оборудования для СПГ. Эти работы на предприятии начались задолго до полётов летающей лаборатории, созданной на базе самолета Ту-155. Первый полет самолета 18.01.1989 г., использующего СПГ, подтвердил надёжность и отличные характеристики изготовленного ОАО «Уралкриомаш» разнообразного оборудования. Сейчас предприятие выпускает вагон-цистерну, ж/д цистерну для перевозки и хранения СПГ. Освоена в производстве контейнер-цистерна модели КЦМ-40/1,0 НС для мультимодальных перевозок СПГ. Предприятие принимает участие в создании и совершенствовании отечественного газотурбовоза ГТ1-001. Для него произведены криогенные тендерные секции, в которые заправляются 17 т СПГ. Секции имеют волокнисто-вакуумную теплоизоляцию. Конструкция секции отвечает всем требованиям, предъявляемым к этому сложному типу оборудования. Эти работы в ближайшее время будут востребованы, так как планируется изготовление 90 единиц газотурбовозов.

С докладом на тему «Эффективные решения для модульных установок СПГ» выступил перед участниками семинара советник генерального директора ООО «Премиум Инжиниринг» *С.А. Кикевич* (фото 24). В докладе основное внимание было уделено рассмотрению структуры различных СПГ-установок. При их создании компанией используется модульный принцип. Для иллюстрации этого подхода были представлены созданные модульные установки переработки газа. Компания на высоком уровне проводит стоимостный инжиниринг. На разных этапах оценки бюджета разработки и создания СПГ-установки при-

нимается степень определённости проекта, используется соответствующая ей методология. Это даёт возможность на следующих этапах снижать погрешность её оценки. Из этого можно заключить, как высоко-профессионально специалисты компании занимаются проектированием, изготовлением и сдачей в эксплуатацию различных модульных СПГ-установок.



Фото 23. В докладе О.Я. Черемных найдла отражение многолетняя деятельность предприятия по созданию эффективного криогенного оборудования для транспортирования, хранения и газификации СПГ. В настоящее время ведётся изготовление ж/д цистерн для доставки СПГ из Сургута в Нижневартовск и Коротчаево для обеспечения испытаний газотурбовоза ГТ1-001 на участках Тюмень-Сургут-Коротчаево (или Нижневартовск). Предприятие намерено в срок поставить необходимое оборудование

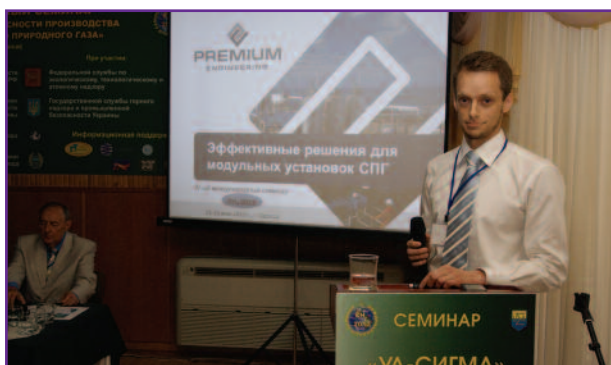


Фото 24. В докладе С.А. Кикевича содержалась информация об основных процессах в СПГ-установках, стоимостном инжиниринге, предлагаемом компанией оборудованием для производства и использования СПГ. В заключительной части выступления были приведены примеры успешно реализованных компанией проектов в России, Казахстане и Перу

Впервые в работе семинара по проблемам производства и использования КПП и СПГ участвовали специалисты известного предприятия ООО «Криомаш-БЗКМ» из Балашихи: генеральный директор В.В. Семёнов и начальник отдела А.В. Семёнов. К продукции этого предприятия проявляется повышенный интерес. Поэтому с особым вниманием участники семинара выслушали доклад А.В. Семёнова (фото 25)

о достижениях в области создания эффективного СПГ-оборудования. Основная часть доклада была посвящена изложению особенностей и достоинств освоенной в производстве установки для получения 1 т СПГ/ч. Принятые схемы и технологические решения, использованные при создании СПГ-установки, согласовывались предприятием с МГТУ им. Баумана. Разработчик документации на СПГ-установку — ООО НПФ «ЭКИП» (Москва). Установка с 100-процентной заводской готовностью имеет блочную конструкцию в габаритах 40-футового контейнера. Это позволяет её удобно и экономично транспортировать заказчику. Предприятие производит широкий ряд криогенной и специальной арматуры для применения её при низких и сверхнизких температурах (воздух и продукты его разделения, СПГ, гелий, водород). Докладчик отметил, что производственная база позволяет изготавливать высокотехнологичное нестандартное оборудование, которым обеспечиваются наземные инфраструктуры «Роскосмос», АЭС, а также предприятия топливного цикла и ВПК.



Фото 25. В выступлении А.В. Семёнова сообщалось не только о выпуске различных КПП- и СПГ-установок. Докладчик кратко представил и другое оборудование, которое производится этим предприятием криогенного машиностроения. Из доклада, например, можно было узнать, что разработка и изготовление высокоэффективных установок для получения редких газов осуществляется именно здесь. Востребованной продукцией являются различные типы криогенных теплообменников, азотные и кислородные криостаты-газификаторы

Вопросы морской доставки, хранения и регазификации СПГ актуальны для России — члена международного клуба экспортёров СПГ. Они представляют интерес и для Украины, которая начинает строить СПГ-терминал. В связи с этим аудиторией был хорошо принят доклад профессора кафедры «Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация» Одесского национального морского университета, д.т.н. А.А. Вассермана (фото 26), посвященный совершенствованию хранения и регазификации СПГ при его морской доставке» [19]. В докладе предлагается новый способ перевозки сжиженного газа при давлении, близком к атмосферному, что позволит пе-

ревозить СПГ без использования установки реконденсации либо без потерь на его испарение. Для этого перед погрузкой на судно необходимо охлаждать сжиженный газ до более низкой температуры, чем температура насыщения при давлении перевозки. Докладчик отметил, что рассматривались различные способы регазификации СПГ. Наилучшим из них оказывается использование холода СПГ в криогенной установке разделения воздуха. Эффективность подтверждается тем, что 1 кг CH_4 в интервале температур 120...290 К может охладить 2,5 кг воздуха при его давлении 3,5 МПа. Внедрение предложенных усовершенствований может дать значительный экономический эффект.



Фото 26. Подводя итоги выполненных исследований, А.А. Вассерман сказал: «Результаты расчётов показали, что при охлаждении большой массы СПГ до температуры, которая на несколько градусов Цельсия ниже температуры насыщения при давлении перевозки, теплоприток к газу из окружающей среды будет компенсирован медленным его нагревом. Это предотвратит испарение части СПГ при перевозке и исключит необходимость её повторной конденсации либо утилизации в энергетической установке судна. Что же касается регазификации, то криогенный потенциал СПГ можно использовать в ВРУ при теплообмене газа с охлаждаемым воздухом»

Вопросы повышения эффективности процессов регазификации СПГ рассматривались в докладе, который представлен Институтом газа НАН Украины и Украинской ассоциацией производителей технических газов (фото 27). Статья была опубликована до начала работы семинара [20]. В выступлении начальника НИС Ассоциации А.В. Копытина приведена схема регазификации СПГ с производством работы в цикле Ренкина. Для повышения эффективности выработки энергии предлагается в схему включить газотурбинную установку. Показано, что при использовании холода СПГ значительно возрастает эффективность силовой установки. В качестве рабочих тел в цикле Ренкина применяются бинарные смеси на основе метана, этана, пропана и бутана. Эффективность производства энергии в комбинированной схеме при утилизации холода СПГ и теплоты отработавших газов ГТУ составляет более 60 %.



Фото 27. «Результаты расчётных исследований показали, что процесс регазификации СПГ можно осуществить одновременно с производством полезной работы, — сообщил, выступая с докладом, А.В. Копытин. — Реализация предлагаемой технологии в Украине на СПГ-терминале для приёма 10 млрд. м^3 /год ПГ может обеспечить годовую выработку электрической энергии на уровне 1300 ГВтч»

Ответственными элементами систем производства и использования КПГ и СПГ являются цилиндрические баллоны высокого давления, криогенные ёмкости для хранения сжиженного ПГ и криогенная арматура. Участники семинара из трёх докладов получили представление о номенклатуре этих изделий и характеристиках новых моделей. С первым из них выступил менеджер по продажам компании «Vitkovice Miltet a.s.» (Соснович, Польша) Ежи Копшинский (фото 28). В его докладе была дана характеристика современного производства различных баллонов. Только для КПГ компания выпускает их 55 моделей. Они отличаются диаметрами (204; 229; 273; 320 и 360 мм) и имеют различную длину. Это позволяет получить широкий ряд баллонов с внутренними объемами от 21,5 до 155 л. Компания выпускает баллоны, которые имеют сертификаты на применение в подавляющем большинстве стран мира. Многочисленные потребители подтверждают высокие качества и показатели надёжности баллонов.



Фото 28. Е. Копшинский представил компанию «Vitrovicе Miltet a.s.», которая выпускает многочисленные модели цельнотянутых и сварных баллонов. Общая стоимость продукции, произведенной в 2011 г., составила около € 44 млн.

Вторым из этого блока докладов было выступление менеджера по продажам компании «Taylor-Wharton Eurore» (Кошице, Словакия) *Виктора Сабо* (фото 29). На заводе компании выпускаются эффективные ёмкости для сжиженных промышленных газов и СПГ. Ёмкости для хранения СПГ разработаны с учётом особенностей этого криопродукта. Например, они комплектуются трубопроводами из нержавеющей стали; испарители подъёма давления изготавливаются из алюминия. Компания уверенно осваивает рынки России и Украины, а также стран СНГ.



Фото 29. В выступлении В. Сабо содержалась информация о криогенных ёмкостях больших объёмов, выпускаемых заводом компании в Кошице. Завод имеет стратегически выгодное месторасположение для поставок изделий в Россию, Украину и Европу. СПГ-ёмкости сертифицированы с учётом требований всех стран мирового рынка

С третьим докладом выступил директор компании «Трассом s.r.o.» (Хомутов, Чешская республика) *Вацлав Влчек* (фото 30). В докладе была представлена объёмная презентация разнообразной криогенной арматуры, производимой компанией «Herose GmbH» (Бад Олдеслое, Германия). Криогенная арматура является основной продукцией завода. Так, общий объём реализации арматуры в 2010 г. составил € 34,26 млн., в котором на долю криогенной арматуры приходилось € 24,4 млн. Вся арматура компании имеет сертификаты на применение в России, Украине и других странах. На специальную арматуру для судов получены документы морского регистра. В докладе много внимания было уделено характеристикам предохранительных клапанов. На их основе компанией создаются сборки с переключающими клапанами. Клапаны «Herose GmbH» находят применение в уникальных изделиях, например, в системе управления, регулирования и защиты горизонтальных резервуаров для СПГ ёмкостью 1000 м³, производство которых организовано компанией «Chart Feox» (Дечин, Чешская республика).

Два доклада, прозвучавших на семинаре, были посвящены вопросам добычи и использования биогаза. Производство биогаза — актуальная задача, так как её решение в каждом конкретном случае способствует постепенному переходу от ископаемых к возобновляемым видам топлива. В первом докладе бы-

ли приведены результаты изучения биометановой продуктивности донного ила Азовского моря [21]. С ним выступил научный сотрудник кафедры радиохимии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова *Г.Б. Рязанцев* (фото 31).



Фото 30. Компания «Herose GmbH» постоянно совершенствует производимую арматуру. В качестве примера В. Влчек назвал криогенную арматуру с гибким шпинделем «Flex Shaft», арматуру с долговечным уплотнением «Life Loaded», а также блочные криогенные клапаны, которые применяются в оборудовании с теплоизоляцией. Компания выпускает наборы арматуры для криогенных резервуаров и полуприцепов, изготавливает арматурные сборки



Фото 31. В конце выступления Г.Б. Рязанцев сделал вывод о том, что Азовское море представляет собой гигантский естественный генератор метана. По его оценке вся расчётная акватория моря, где есть илистые отложения, может выделять свыше 90 млрд. кубических метров метана за сезон. Этот объём, как можно установить, существенно превышает годовое потребление природного газа в Украине

В докладе Г. Б. Рязанцева сообщалось, что через поверхность Азовского моря в окружающую среду поступают значительные объёмы биогаза. Рассмотрен механизм образования и выделения биогаза из донного ила Северного Приазовья, проведен спектральный и хроматографический анализ биогаза и химический анализ донного ила. Были представлены перспективные схемы сбора морского биогаза и его применения в когенерационном блоке для производства электроэнергии и теплоты. Показано, что целе-

сообразно биогаз использовать в замкнутом цикле преобразования солнечной энергии в электрическую.

Во втором докладе была рассмотрена действующая система сбора и утилизации биогаза, добываемого на полигоне твердых бытовых отходов [22]. Докладчик, — а это ведущий научный сотрудник Института газа НАН Украины, д.т.н. *Г.В. Жук* (фото 32), — сообщил основные показатели системы, созданной на полигоне в Киевской области. В состав системы входят 44 скважины, каждая из которых имеет производительность около 20 м³/ч. Добываемый на полигоне биогаз используется в пяти газопоршневых двигателях с электрогенераторами производства «TEDOM» (Чешская республика) модели «Cento T180». Общая электрическая мощность, вырабатываемая всеми двигателями, — 925 кВт. Электроэнергия передается в централизованную сеть. Дальнейшее освоение полигона позволит увеличить сбор биогаза и довести мощность установленного оборудования для производства электроэнергии до 4,5 МВт.



Фото 32. Из доклада Г.В. Жука следовало, что проекты сбора и утилизации свалочного биогаза (БГС) разработаны и для других полигонов твердых бытовых отходов (ТБО). Определены составы свалочных газов, продуктивность скважин, установлен потенциал их добычи. Реализация проектов сдерживается, в основном, затягиванием с принятием закона, устанавливающего «зелёный тариф» на электроэнергию, вырабатываемую из биогаза

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все доклады, прозвучавшие на семинаре, воспринимались аудиторией крайне заинтересовано. Каждый из них завершался вопросами, некоторые — дискуссиями и обсуждениями. Этому способствовала также заблаговременная публикация нами большинства докладов, оформленных авторами в виде статей, в журнале «Технические газы». Несмотря на это, ежедневно в конце заседаний ещё отдельно выделялось время для общего анализа заслушанных докладов. Так, 23 мая специально был проведён круглый стол для обмена мнениями по ряду поднятых на семинаре вопросов.

Участники семинара были обеспечены выпусками журнала «Технические газы» издания 2011 и 2012 гг.

Высокий уровень состоявшихся докладов, насы-

щенность их большим объёмом полезной информации, с одной стороны, и активное заинтересованное участие слушателей в их обсуждении, с другой, позволили нам, организаторам семинара, вручить им сертификаты, подтверждающие повышение квалификации по актуальной проблеме создания эффективных и безопасных систем производства компримированного и сжиженного природного газа (фото 33).



Фото 33. Сертификат о повышении квалификации вручается директору по НИОКР ОАО «Автогаз» (г. Москва) Е.В. Шапочкиной

Интеллектуальный и информационный фонд семинара сформировали те, кто предварительно дал согласие выступить с докладом. Поэтому нами от имени оргкомитета семинара всячески поощрялись докладчики (фото 34).

Но не только заседаниями, заслушиванием и обсуждением докладов жил семинар. Нами многое делалось для установления и развития контактов между участниками семинара. Такое общение специалистов имеет очень высокую ценность.



Фото 34. Подарками и дипломами, подтверждающими высокий уровень докладов, отмечались все выступившие на семинаре. Показано, как благодарили за выступление генерального конструктора ОАО «Уралкриомаш» О.Я. Черемных

Во время семинара нами обращалось внимание и на ознакомление участников с историей и современностью такого города, как Одесса. В первый же день была проведена ознакомительная экскурсия по городу. На следующий день участники семинара посетили

Одесский национальный академический театр оперы и балета (фото 35).



Фото 35. *Посещение театра — приятная традиция семинаров, организуемых Ассоциацией «УА-СИГМА». Вот и на этот раз участники семинара в ожидании балетного представления «Тайна Венского леса» (а), которое восхитило их высоким мастерством труппы и бессмертной музыкой композиторов Малера и Штрауса (б)*

В выступлениях докладчиков и участников семинара был высказан ряд пожеланий. Одни из них обращали внимание на необходимость расширения деятельности Ассоциации «УА-СИГМА» по оказанию различных видов помощи предприятиям отрасли. Другие были обусловлены необходимостью обновления и совершенствования нормативных документов по обсуждаемым на семинаре проблемам. С учётом этого была подготовлена резолюция семинара, с проектом которой заранее могли ознакомиться все желающие. На последнем заседании её одобрили после внесения в текст некоторых добавлений, а затем вручили каждому, кто принял участие в работе семинара.

Участники семинара в ходе обмена мнениями, при обсуждениях докладов высоко оценивали уровень организации и проведения семинара, его полезность, а также единодушно одобряли крайне важную деятельность Ассоциации «УА-СИГМА» по информационному обеспечению предприятий и кадровому сопровождению внедрения нового оборудования и эффективных технологий.

Благодарим всех, кто откликнулся на наши приглашения и с пользой для совершенствования систем

производства СПГ и КПП принял участие в работе семинара. Будем готовиться к проведению уже пятого семинара по указанной проблеме, который состоится в мае 2014 г. До новых встреч, коллеги!

ЛИТЕРАТУРА

1. Лавренченко Г.К. Актуальные проблемы производства и использования КПП и СПГ// Технические газы. — 2012. — № 3. — С. 2-17.
2. Лавренченко Г.К., Копытин А.В. Энергетические комплексы на природном газе с когенерационной и паротурбинной установками для производства электрической энергии, жидкого диоксида углерода и газообразного азота// Технические газы. — 2005. — № 2. — С. 11-21.
3. Лавренченко Г.К., Копытин А.В. Термохимическая регенерация теплоты для обеспечения эффективного использования метана в паротурбинных установках// Химическая техника. — 2005. — № 1. — С. 19-27.
4. Лавренченко Г.К., Копытин А.В. Использование природного газа и кислорода для повышения эффективности паротурбинных установок// Технические газы. — 2006. — № 6. — С. 38-46.
5. Савиных А.М. Реконструкция сети АГНКС ОАО «Газпром»// Транспорт на альтернативном топливе. — 2008. — № 2. — С. 44-46.
6. Мовчан Е.П., Рогальский Е.И., Черепанов А.П. Перспективы внедрения газомоторного топлива в автотранспорт России// Технические газы. — 2006. — № 5. — С. 52-57.
7. МЕТАНинфо// Информация НГА России от 15.04.2012.
8. www.kavkazavtogaz.ru/content/article/37.
9. США: Газомоторная атака// www.house.gov/emanuel.
10. Лапушкин Н.А. Технологии использования природного газа в двигателях автотранспортных средств и силовых установок// Транспорт на альтернативном топливе. — 2008. — № 2. — С. 47-50.
11. www.peoples.ru/technics/designer/etienne_lenoir.
12. Гречко А.Г., Новиков А.И. Мировой рынок сжиженного природного газа// Холодильная техника. — 2009. — № 9. — С. 52-55; № 10. — С. 45-48.
13. Научно-конструкторская база, опыт разработки и производства ОАО «Криогенмаш» — совершенствованию СПГ-оборудования/ И.Ф. Кузьменко, А.Л. Довбиш, К.В. Безруков, В.А. Передельский// Технические газы. — 2012. — № 3. — С. 17-23.
14. Модернизация АГНКС с интегрированием в её состав оборудования для производства СПГ/ Г.С. Горячев, В.П. Кульбакин, С.Ю. Лебедев и др.// Технические газы. — 2012. — № 3. — С. 30-35.
15. Поршневые компрессорные установки с различными типами главных приводов для сжатия углеводородных газов/ А. В. Смирнов, В.П. Фесенко, А.В. Шаповалов и др.// Технические газы. — 2012. — № 3. — С. 42-48.
16. Прилипко С.А., Парафейник В.П., Тертышный И.Н. Анализ эффективности блочно-комплектной турбокомпрессорной установки природного газа с газотурбинным приводом// Технические газы. — 2012. — № 4, — С. 39-47.
17. Оборудование для производства и использования

сжиженного и компримированного природного газа/ **Ю.Г. Жиляев, Л.М. Кельс, М.В. Подгорная и др.**// Технические газы. — 2012. — № 3. — С. 36-41.

18. **Иванов К.А., Павлов Н.В.** Атмосферные испарители высокого давления для газификации СПГ и жидких продуктов разделения воздуха// Технические газы. — 2012. — №3. — С. 69-72.

19. **Вассерман А.А., Шугенко М.А.** Совершенствование хранения и регазификации сжиженных газов при их морской доставке// Технические газы. — 2012. — № 3. — С. 24-28.

20. Характеристики силовой установки, использующей холод регазификации СПГ и теплоту отработавших газов/ **А.И. Пятничко, Л.Р. Онопа, Г.К. Лавренченко, А.В. Копытин**// Технические газы. — 2012. — № 3. — С. 54-59.

21. **Рязанцев Г.Б., Мнацаканян В.Г., Хасков М.А.** Биометановая продуктивность донного ила Азовского моря// Технические газы. — 2012. — № 3. — С. 49-53.

22. **Жук Г.В., Пятничко А.И., Баннов В.Е.** Система сбора и утилизации биогаза полигона твёрдых бытовых отходов// Технические газы. — 2012. — № 3. — С. 65-69.

FRUNZE
ОСНОВАНО В 1956 ГОДУ

ПАО "Сумское НПО им.М.В.Фрунзе" -
одно из старейших предприятий в мире
по изготовлению поршневых компрессоров

- широкая номенклатура;
- высокая эффективность и надежность;
- большой ресурс работы;
- автоматизированная система контроля, управления и защиты;
- гарантийное обслуживание.

www.frunze.com.ua

ОПЫТ, которому можно доверять!

Украина, 40004, г.Сумы, ул.Горького, 58
www.frunze.com.ua
 управление продаж:
 т. +38 0542 78 84 64, ф. +38 0542 22 63 62
 отдел маркетинга:
 т. +38 0542 78 05 71

Представительство в России, г.Москва
 т. +7 495 745 88 30, ф. +7 495 745 88 31