



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ХОЛОДУ, КРІОТЕХНОЛОГІЙ
ТА ЕКОЕНЕРГЕТИКИ ІМ. В.С. МАРТИНОВСЬКОГО**

XII ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ
MODERN PROBLEMS OF REFRIGERATION EQUIPMENT AND TECHNOLOGY**

27-28 вересня 2019 року

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ КОНФЕРЕНЦІЇ



ОДЕСА 2019

УДК 621.565 (075.6)

Сучасні проблеми холодильної техніки та технології / Збірник тез доповідей XII Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Одеса: ОНАХТ, 2019. – 229 с.

У збірнику наведені матеріали XII Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки та технології» та розглянуто різні аспекти науково-технічних питань, пов'язаних з проектуванням, виготовленням та експлуатацією холодильного обладнання різного призначення, дослідженням робочих тіл та процесів в елементах холодильних та криогенних систем, застосуванням нано та когенераційних технологій, використанням холоду в харчових технологіях, застосуванням і впровадженням нетрадиційних джерел енергії.

В сборнике представлены материалы XII Всеукраинской научно-технической конференции «Современные проблемы холодильной техники и технологии» и рассмотрены различные аспекты научно-технических вопросов, связанных с проектированием, изготовлением и эксплуатацией холодильного оборудования различного назначения, исследованием рабочих тел и процессов в элементах холодильных и криогенных систем, применением нано и когенерационных технологий, использованием холода в пищевых технологиях, применением и внедрением нетрадиционных источников энергии.

Відповідальність за достовірність інформації несе автор публікації.
Матеріали публікуються мовою оригінала, наданого автором.

Голова наукового комітету – Єгоров Богдан Вікторович – ректор Одеської національної академії харчових технологій, член-кореспондент НААН України, Заслужений діяч науки і техніки, д-р техн. наук, професор.

Заступник голови – Косой Борис Володимирович – директор Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського, д-р техн. наук, професор.

Члени наукового комітету:

Ванєєв Сергій Михайлович - Сумський державний університет, к.т.н., доцент;

Василенко Сергій Михайлович - Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор;

Железний В.П. - зав. кафедрою теплофізики та прикладної екології ОНАХТ, д-р техн. наук, професор;

Лабай Володимир Йосипович - Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор;

Лавренченко Г.К. - д-р техн. наук, професор;

Мілованов В.І. - зав. кафедрою компресорів та пневмоагрегатів ОНАХТ, заслужений діяч науки і техніки України, д-р техн. наук, професор;

Морозюк Л.І. - д-р техн. наук, професор;

Потапов Володимир Олексійович - Харківський державний університет харчування і торгівлі, д.т.н., професор;

Радченко М.І. - зав. кафедрою кондиціонування і рефрижерації НУК, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор;

Семенюк В.А. - к.т.н., директор НПФ «Терміон»;

Симоненко Ю.М. - зав. кафедрою кріогенної техніки ОНАХТ, д-р техн. наук, професор;

Снежкін Юрій Федорович - директор Інституту технічної теплофізики, д.т.н., академік НАНУ

Ткаченко Станіслав Йосипович - д.т.н., професор Вінницького національного технічного університету;

Хмельнюк М.Г. - зав. кафедрою холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор;

Щит Михайло Львович - к.т.н., пров. наук. спів. Інституту енергетики Академії Наук Молдови.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова – проф. Хмельнюк М.Г.

Науковий секретар – к.т.н. Зімін О.В.

Члени – к.т.н. Жихарєва Н.В., к.т.н. Когут В.Є., к.т.н. Яковлева О.Ю., к.т.н. Желіба Ю.О., к.т.н. Остапенко О.В., к.т.н. Подмазко О.С.

ТЕМИ ДОКЛАДОВ ПЛЕНАРНОГО ЗАСІДАННЯ

110 РОКІВ ПРОФЕСОРУ ЧУКЛІНУ СЕРГІЮ ГРИГОРОВИЧУ (1909-1974)

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ, МЕТОДЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ КОМФОРТНОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Н.И. Радченко, д.т.н., проф., Е.И. Трушляков, к.т.н., проф., А.Н. Радченко, к.т.н., доц.,
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

АЗОТНЫЕ ГАЗИФИКАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Кириченко И.В., технический директор ПКФ «Криопром» ООО, г. Одесса;
Леонтьев А.А., главный конструктор ПКФ «Криопром» ООО, г. Одесса.
e - mail: info@krioprom.com.ua

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОЗОНАЛЬНИХ СИСТЕМ КОМФОРТНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

Жихарева Н.В., к.т.н., доц., Одеська національна академія харчових технологій

14.	ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ У ХОЛОДИЛЬНІЙ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ	203
15.	ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НАНОЧАСТИЦ AL₂O₃ НА ДАВЛЕНИЕ НАСЫЩЕННЫХ ПАРОВ ИЗОПРОПИЛОВОГО СПИРТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИРКУЛЯЦІЇ ДОМШОК	206
16.	КОМПРЕСОРНОГО МАСТИЛА В ХОЛОДОАГЕНТАХ R600A ТА R290 ПО КОНТУРУ ХОЛОДИЛЬНОЇ КОМПРЕСОРНОЇ СИСТЕМИ	209
17.	СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ЖИДКОЙ ФАЗЕ О-КСИЛОЛА ПРИ НАЛИЧИИ ПРИМЕСЕЙ ФУЛЛЕРЕНА C₆₀	211
18.	ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ ФУЛЛЕРЕНОВ C₆₀ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕТРАЛИНА	214
19.	ВПЛИВ ДОМШОК МОДЕЛЬНОГО КОМПРЕСОРНОГО МАСТИЛА TEG В ХОЛОДОАГЕНТІ RE170 НА ПАРАМЕТРИ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПРЕСОРНОЇ СИСТЕМИ	217
20.	ПРИНЦИПИ ТЕРМОДИНАМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАНОФЛЮІДІВ	220
	ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ	стр.
1.	АЗОТНЫЕ ГАЗИФИКАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ	223
2.	ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОЗОНАЛЬНИХ СИСТЕМ КОМФОРТНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ	227

АЗОТНЫЕ ГАЗИФИКАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

**Кириченко И.В., технический директор ПКФ «Криопром» ООО, г. Одесса;
Леонтьев А.А., главный конструктор ПКФ «Криопром» ООО, г. Одесса.
e - mail: info@krioprom.com.ua**

Одним из основных направлений обеспечения энергетической независимости Украины является увеличением собственной добычи природного газа. Достижение энергетической независимости невозможно без использования наукоемких технологий. Новейшие технологии позволяют продлить жизненный цикл месторождений путем интенсификации с приемлемыми затратами – одной из таких технологий является колтюбинговые технологии при добыче природного газа.

Колтюбинг - специальная установка, предназначенная для проведения технологических операций при подземном ремонте скважин, а также для бурения боковых, наклонных и горизонтальных стволов в нефтяных и газовых скважинах с использованием гибких труб. Любой комплекс колтюбинговой добычи газа состоит из трех составных частей: установки гибкой трубы, насосного кислотостойкого агрегата и азотной газификационной установки высокого давления.

Для обеспечения потребностей газо- и нефтедобывающих компаний в газообразном азоте высокого давления ПКФ «Криопром» разработал ряд транспортабельных азотных газификационных установок с производительностью от 250 до 1200 $\text{м}^3/\text{ч}$ и максимальным конечным давлением до 450 $\text{кгс}/\text{см}^2$. Необходимость создания установок с такими параметрами обусловлено наличием большого количества скважин в Полтавской, Львовской и Харьковской областях с глубиной до 2..3 км. Для освоения или восстановления таких скважин целесообразно иметь небольшие газификационные азотные установки.

В этом году ПКФ «Криопром» поставил четыре установки типа ГУ-600/45 для ведущей газодобывающей фирмы Украины – АО «Укргаздобыча».

Основные требования, предъявленные АО «Укргаздобыча» к этой установке:

- мобильность – все оборудование установки должно размещаться на опорной раме контейнерного типа в габаритах «1 ВВ»;
- автономность – установка должна комплектоваться дизель-генераторной установкой и обеспечивать все потребности в электроэнергии;
- гарантия получения положительной температуры газообразного азота высокого давления;
- возможность подключения к основной колтюбинговой установке.

Таблица 1. Основные характеристики газификационной установки ГУ-600/45

Наименование параметра	Норма
Объемная производительность по азоту при максимальном давлении, $\text{м}^3/\text{ч}$	600...650
Максимальное рабочее давление азота, $\text{кгс}/\text{см}^2$	450
Температура газа на выходе установки, $^{\circ}\text{C}$	10...20
Вместимость криогенного резервуара, м^3	8
Тип испарителя	электрический
Тип теплоносителя в испарителе	50%-й раствор этиленгликоля
Транспортный габарит рамы (длина x ширина), мм	9125x2438x2591

При составлении схемы и подборе оборудования учитывались вышеперечисленные требования, основным из которых являлся транспортный габарит установки. В условиях ограниченных размеров площадки для размещения оборудования пришлось отказаться от

использования атмосферных испарителей и использовать транспортный горизонтальный резервуар с максимально возможной емкостью 8 м³.



Рисунок 1. Газификационная установка ГУ-600/45

Основное оборудование газификационной азотной установки ГУ-600/45: криогенная горизонтальная транспортная емкость; поршневой трехлинейный криогенный насос; электрический испаритель азота; центробежный криогенный насос; щит управления и контроля; дизель-генератор.

Для транспортировки и хранения жидкого азота используется горизонтальная транспортная емкость с вакуумно-порошковой изоляцией объемом 8 м³, выполненная по специальному заказу ПКФ «Криопром» в фирме «Cryoorgema». Для создания конечного давления газообразного азота установка комплектуется «подпорным» центробежным насосом фирмы «Cryostar», Франция и основным трехлинейным поршневым насосом производства ПКФ «Криопром». Центробежный насос обеспечивает так называемое «переохлаждение» жидкого азота при подаче его в поршневой насос. Основой для выбора центробежного насоса стала производительность установки - 600 м³/ч, что является пограничным минимальным значением для центробежных насосов. Фирма «Cryostar» оказалась единственным производителем центробежных насосов с минимальным диаметром рабочего колеса 120 мм. Другие известные производители центробежных насосов: фирмы «ACD CRYO» и «Vanzetti Engineering» насосов такой малой производительности нам не предоставили. При заводских испытаниях установки было обнаружена обязательная необходимость изоляции жидкостных трубопроводов, связывающих криогенную емкость и центробежный насос. Поэтому было принято решение изолировать эти трубопроводы качественной низкотемпературной изоляцией типа Cryogel фирмы «Lydall».

Необходимую положительную температуру газообразного азота на выходе из установки обеспечивает электрический испаритель собственного производства. Испаритель заполнен 50%-ным водным раствором этиленгликоля. Подогрев осуществляется трубчатыми нагревательными элементами (ТЭН), которые обеспечивает выходную температуру в пределах 10...20 °С. Вся группа ТЭНов разбита на 3 секции, что позволяет производить плавную регулировку температуры газообразного азота путем включения/отключения этих секций.

Одними из основных решений, которые надо было осуществить при создании этой установки – это подбор запорной и предохранительной арматуры. Если на стороне криогенных температур и низкого давления выбор был очевиден – арматура известной фирмы «HEROSE», то на стороне высокого давления с необходимым условным давлением 500 кгс/см² подбор арматуры был затруднен. Для решения этой проблемы специалисты фирмы «Криопром» разработали и изготовили

собственную запорную и предохранительную арматуру высокого давления Ру 500, которая успешно прошла проверку как при испытаниях установки ГУ-600/45, так и при эксплуатации у заказчика.

Автономная работа газификационной установки в полевых условиях обеспечивается дизель-генераторной установкой открытого типа фирмы JSB, Великобритания. Выбор этого типа дизель-генератора обусловлен надежностью оборудования фирмы JSB, а его открытое исполнение – попаданием в необходимые автомобильные габаритные размеры.

Для управления установкой устанавливается общий щит управления, который обеспечивает питание всех потребителей электроэнергии от дизель-генератора, защитные блокировки насосов и испарителя, контроль параметров от датчиков, установленных по месту. Щит изготовлен из нержавеющей стали в транспортном исполнении со степенью защиты IP 54. В зависимости от конечного давления (глубины скважины) производительность поршневого насоса может колебаться от 1100 до 600 м³/ч. Для поддержания паспортных характеристик по температуре газа на выходе и производительности установки в щит управления включен частотный преобразователь тока электродвигателя поршневого насоса фирмы «Schneider Electric».

Все технологическое оборудование установки с трубопроводами, арматурой, электрическими кабелями, щитом управления, быстроразъемными соединениями для наполнения криогенной емкости и подключения к колтюбинговой установке размещается на единой раме каркасного типа с контейнерными креплениями в размерах стандартного типоразмера контейнера 1ВВ (30-ти футовый контейнер). Для защиты оборудования и коммуникаций при транспортировке изделия на автомобильной платформе установлены защитные транспортными ролеты.



Рисунок 2. Газификационная азотная установка ГУ-600/45 в составе колтюбинговой установки

Газификационная установка ГУ-600/45 была изготовлена под конкретный заказ для АО «Укргаздобыча». Как показали заводские испытания, и уже накопившийся опыт эксплуатации она успешно выполняет свои необходимые функции. Однако эта установка имеет и ряд недостатков: повышенное удельное энергопотребление; наличие дополнительной вибрации при работе дизель-генератора.

Перспективным является направление с применением в газификационных установках атмосферных испарителей, которые снижают потребление электроэнергии практически вдвое. Установки можно изготавливать на базе 20-ти футовых контейнеров с разбивкой на два модуля. При сохранении старого варианта установки, можно добавить в схему оборудование для использования теплоты выхлопных газов, сбрасываемых с дизель-генераторной установки.

В этой связи ПКФ «Криопром» ООО выполнил эскизный проект новой газификационной установки с увеличенной производительностью – установка ГУ-1200/45. Эта газификационная установка производительностью 1200 $\text{нм}^3/\text{ч}$ базируется на трехлинейном поршневом насосе НЖ-0,5/45 и состоит из двух составных модулей, каждый из которых, представляет собой 20-футовый контейнер (каркасная рама контейнерного типа), на котором будет смонтировано все оборудование установки. В первом модуле располагаются транспортная криогенная емкость геометрическим объемом 8 м^3 и центробежный насос. Во втором модуле устанавливаются трехлинейный поршневой насос; блоки атмосферных испарителей, электрический «догреватель» газообразного азота; щит управления азотной установкой. Соединение двух контейнеров осуществляется гибкими криогенными шлангами с быстроразъемными соединениями.

Для существенного снижения установленной и потребляемой электрической мощности азотная установка комплектуется блоками атмосферных испарителей. Конструктивной каждый блок представляет собой испаритель, выполненный из скolleктированных между собой оребренных двухслойных труб типа «звездочка», обдуваемых атмосферным воздухом с помощью вентиляторов. Наружная труба и оребрение выполнена из алюминиевого сплава, внутренняя трубка $\text{Ø } 16 \times 3$ – из стали 12X18H10T. Оригинальная конструкция такой двухслойной трубы запатентована ПКФ «Криопром» в Украине – патент № 96497 от 10.02.2015 г.

Установка комплектуется блоком из шести атмосферных испарителей. Производительность каждого блока составляет 240 $\text{нм}^3/\text{ч}$ газифицируемого азота. Все испарители параллельно коллектируются относительно подачи жидкого азота и выдачи газообразного азота. Температура выходящего газообразного азота из испарителей на 20 $^{\circ}\text{C}$ ниже температуры окружающей среды. Поэтому на выходе из атмосферных испарителей в различное время года будут различные температуры газообразного азота. Для получения одинакового паспортного значения температуры производственного газообразного азота в схему включается электрический двухсекционный догреватель, который окончательно подогревает азот до 20 $^{\circ}\text{C}$. Исключение дизель-генератора из комплекта установки ГУ-1200/45 снижает вибрацию и шумовые характеристики к минимуму и экономит место на площадке для размещения атмосферных испарителей.

ПКФ «Криопром» ранее разработал транспортабельные газификационные установки малой производительности ТГУ-250/40 и ТГУ-400/40 производительностью 250 $\text{нм}^3/\text{ч}$ и 400 $\text{нм}^3/\text{ч}$ газообразного азота при конечном давлении до 400 $\text{кгс}/\text{см}^2$. Основным отличием газификационных установок малой производительности является использование однолинейных поршневых насосов при отсутствии центробежного насоса. Установки размещаются на раме с контейнерными креплениями типоразмера «1СС. Газификационная установка ТГУ-250/40 – это вариант исполнения газификационных установок малой производительности с применением атмосферного испарителя и догревателя и погружного насоса НЖ-80/40, а установка ТГУ-400/40 – вариант с использованием выносного насоса НЖ-0,175/40 и электрического испарителя, но с увеличенным объемом емкости для хранения жидкого азота

Таким образом, на сегодняшний день есть несколько вариантов исполнения транспортабельных газификационных азотных установок высокого давления производства ПКФ «Криопром», а конструкторско-технологические и производственные возможности предприятия позволяют решать вопросы по созданию установок разной производительности и комплектации в зависимости от условий, предъявляемых заказчиком.

Список информационных источников.

1. К.А. Иванов, Н.В. Павлов. Современные атмосферные испарители криогенных жидкостей // Технические газы. – 2010. – № 3. – Стр. 30-33.
2. Патент Украины № 96497 «Способ изготовления биметаллической оребренной трубы» от 10.02.2015 г.