

УДК 621.59

¹К.А. Иванов; ²Н.В. Павлов, канд. техн. наук

ООО «НПО Мониторинг», 16-я Парковая, 26, г. Москва, РФ, 105484

e-mail: ^{1,2}mail@monitoring-npo.ruORCID: ¹orcid.org/0000-0003-2493-1611; ²http://orcid.org/0000-0003-4164-8076

АТМОСФЕРНЫЕ ИСПАРИТЕЛИ С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМИ КОНВЕКЦИЕЙ И ОТОГРЕВОМ

Специалистами компании ООО «НПО Мониторинг» непрерывно ведется работа по совершенствованию выпускаемого теплообменного оборудования, предназначенного для газификации жидких криопродуктов. Рассматриваются преимущества создаваемых компанией испарителей нового поколения с принудительной конвекцией и регенерацией (отогревом) внешней поверхности аппаратов в осенне-зимний период их эксплуатации.

Ключевые слова: Криогенное оборудование, Атмосферный испаритель с принудительной конвекцией. Технические газы. Сжиженный природный газ (СПГ).

1. ВВЕДЕНИЕ

Компанией ООО «НПО Мониторинг» ведётся работа по совершенствованию теплообменного оборудования, предназначенного для газификации жидких криопродуктов.

Так, ранее в статьях [1,2] сообщалось, как на основе производимых компанией атмосферных испарителей решаются проблемы повышения безопасности и эффективности производства и потребления продуктов разделения воздуха, диоксида углерода и сжиженного природного газа (СПГ). В следующей публикации [3] освещался опыт использования атмосферных испарителей высокого и среднего давлений в составе систем хранения и газификации технических газов и СПГ.

В настоящей статье покажем, как улучшались массогабаритные показатели испарителей, снижались капитальные затраты, увеличивалась их единичная производительность. Остановимся на рассмотрении атмосферных испарителей нового поколения с принудительной конвекцией и обогревом, разработку и производство которых осуществляет ООО «НПО Мониторинг».

2. РАСШИРЕНИЕ ВЫПУСКА АТМОСФЕРНЫХ ИСПАРИТЕЛЕЙ

На сегодняшний день реализовано более сотни проектов по созданию систем хранения и газификации жидких криопродуктов, в которых успешно применяются атмосферные испарители производства ООО «НПО Мониторинг». По всей стране эксплуатируется более 300 таких аппаратов производительностью до 4600 нм³/ч. Рис. 1 даёт представление о том, как росло производство испарителей нашей разработки.

Из рис. 1 можно наблюдать значительное увеличение производства и продаж атмосферных испарителей.

Конкурентоспособность продукции нашей компа-

нии существенно повысилась после падения курса рубля по отношению к европейской валюте в конце 2014 г. Это привело к тому, что импортировать испарители европейских производителей стало не выгодно.

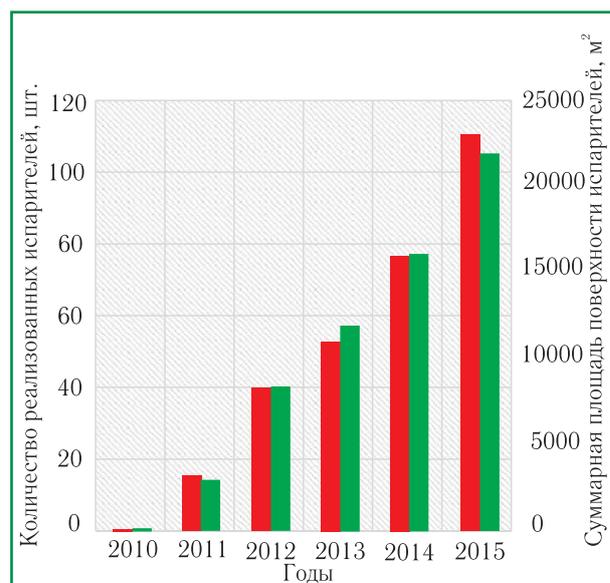


Рис. 1. Рост объёма производства атмосферных испарителей ООО «НПО Мониторинг»:

■ — суммарная площадь поверхности теплообмена реализованных испарителей;
■ — количество реализованных испарителей

С 2013 г. ООО «НПО Мониторинг» — авторизованный поставщик атмосферных испарителей для компаний «Air Liquide» и «Praxair».

Неоспоримыми достоинствами «классических» атмосферных испарителей являются их надёжность, простота конструкции и независимость от внешних источников энергии.

К 2015 г. компанией было освоено серийное про-

изводство стандартных атмосферных испарителей с естественной конвекцией с единичной производительностью до 3500 $\text{нм}^3/\text{ч}$ по азоту. Единичная производительность испарителей ограничивается возможностью их транспортировки к месту эксплуатации автомобильным транспортом как габаритного груза. С целью снижения капитальных затрат на создание системы хранения и газификации испарители объединяют параллельно в группы (рис. 2).

Группы испарителей единичной производительности 2300–3500 $\text{нм}^3/\text{ч}$ по азоту в настоящее время смонтированы в Санкт-Петербурге (ПАО «ОМЗ» — Ижорские заводы), Кировске Мурманской области (АО «Апатит»), Набережных челнах (АО «Набережночелнинский трубный завод «ТЭМ-ПО») и на ряде других объектов.

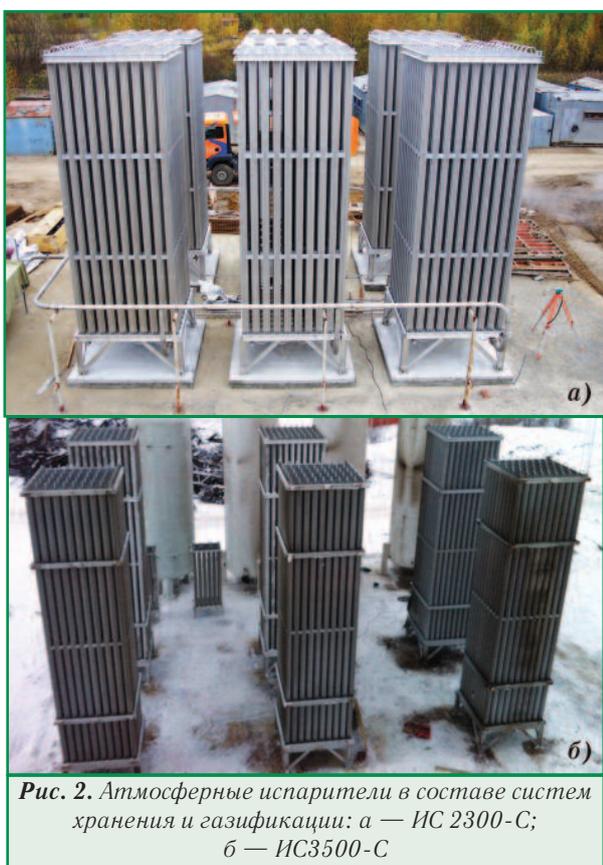


Рис. 2. Атмосферные испарители в составе систем хранения и газификации: а — ИС 2300-С; б — ИС3500-С

3. СОЗДАНИЕ ИСПАРИТЕЛЕЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Следующим шагом к увеличению единичной производительности испарителей является создание аппаратов, оснащенных вентиляторами, для организации принудительного конвективного теплообмена между их поверхностями аппарата и атмосферным воздухом. Приведенная к единице поверхности производительность аппаратов такого типа оказывается до 2-х раз выше, чем у испарителей с естественной конвекцией.

Повышение производительности достигается за счёт увеличения скорости обтекания поверхности

теплообмена аппарата воздухом, нагнетаемым в межтрубное пространство вентиляторами. Такой подход позволяет сократить металлоемкость парка средств газификации и снизить капитальные затраты на строительство системы хранения и газификации. К отрицательным факторам использования такой схемы можно отнести более высокую скорость обмерзания поверхностей испарителей.

Как показывает опыт эксплуатации испарителей, проблема снижения эффективности работы испарителей при постоянных расходах, близких к номинальным, особенно актуальна в осенне-зимний период, когда отсутствует возможность естественной регенерации — удаления вымерзающей на поверхности испарителя влаги (рис. 3).



Рис. 3. Очистка поверхности теплообмена испарителей ИС 0430-С механическим способом

В конце 2015 г. специалистами компании ООО «НПО Мониторинг» была разработана конструкция испарителей с принудительной конвекцией и системой отогрева теплообменной поверхности аппарата. На рис. 4 показан общий вид такого испарителя. Секция теплообменных элементов испарителя заключена в кожух для создания направленного потока воздуха вдоль оребренных труб. Поток воздуха подаётся осевым вентилятором, установленным в верхней части аппарата. В нижней части испарителя смонтирован шкаф управления, а также блок ТЭНов, предназначенный для отогрева («регенерации») аппарата по определенной программе. Для повышения эффективности отогрева испарителя между вентилятором и зоной размещения теплообменных элементов устанавливается приводная заслонка, блокирующая поток естественной циркуляции нагретого воздуха во время отогрева испарителя.

Атмосферные испарители с системой принудительной конвекции и блоком ТЭНов для отогрева аппарата обеспечивают непрерывную газификацию криопродукта в течение 24-х часов в сутки, 7-и дней в неделю при любой температуре окружающего воздуха. При этом затраты внешней электрической или тепловой энергии при таком способе газификации составляют менее 15 % от затрат на газификацию криопродукта с использованием электрических или пароводяных испарителей.

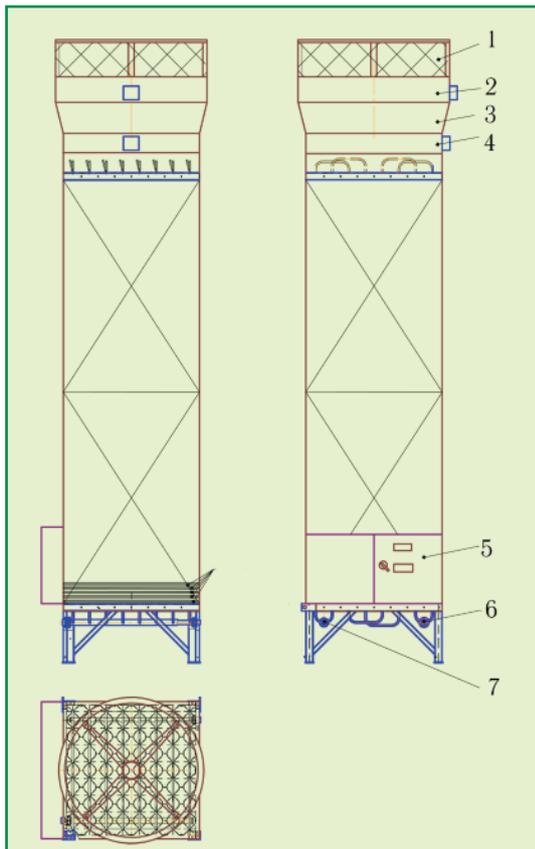


Рис. 4. Общий вид и состав испарителя с принудительной конвекцией и регенерацией:
 1 — воздухозаборник; 2 — вентилятор;
 3 — конфузор; 4 — приводная заслонка;
 5 — шкаф управления; 6, 7 — коллектор выходной

Для непрерывной работы системы создается схема, включающая два испарителя или количество испарителей, кратное двум, с автоматическим переключением потоков криопродукта. На рис. 5 приведена такая схема.

В начальный период работы при подаче питания

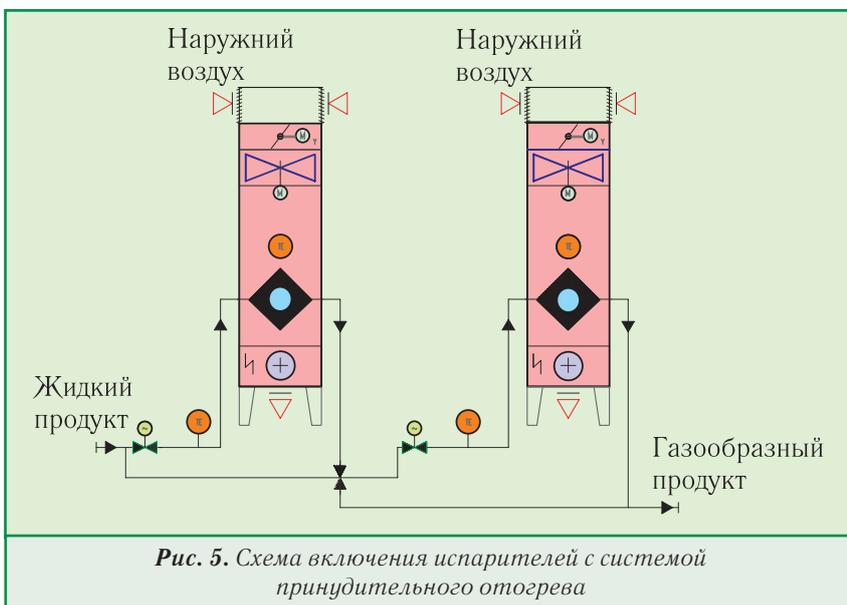


Рис. 5. Схема включения испарителей с системой принудительного обогрева

система анализирует состояние элементов и выбирает «основную» ветвь. Вторая ветвь остается в исходном положении. Начальное положение устройств: приточные заслонки закрыты, нагреватели и вентиляторы выключены.

После выбора «основной» ветви открывается соответствующий клапан для подачи жидкого криопродукта в испарители. Когда в коллектор поступает жидкий продукт (температура среды в трубопроводе контролируется датчиком температуры) открывается приточная заслонка и включается вентилятор.

«Основная» ветвь работает в течение заданного рабочего периода. Продолжительность может изменяться оператором. По истечении заданного рабочего периода происходит переключение ветвей. «Основная» ветвь переходит в режим «регенерации», «резервная» же ветвь включается в работу.

В режиме «регенерация» система контролирует температуру окружающего воздуха и выбирает один из двух режимов обогрева испарителей:



Рис. 6. Оребренный ТЭН с оболочкой, изготовленной из нержавеющей стали

— В весенне-летний период (при температуре окружающего воздуха выше $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$) в режиме «регенерация» оттаивание поверхности теплообмена испарителей происходит за счет нагнетаемого с помощью вентиляторов внутрь кожуха аппарата теплого воздуха. Это позволяет сократить расход электроэнергии по сравнению с «зимним» режимом обогрева на 60–70 %.

— В осенне-зимний период (при температуре окружающего воздуха ниже $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$) для сокращения расхода электроэнергии на регенерацию сначала атмосферным воздухом с помощью вентиляторов температура в межтрубном пространстве выравнивается с температурой окру-

жающего воздуха. Затем вентиляторы выключаются, закрываются приточные заслонки и включаются ТЭНы, установленные в нижней части аппаратов. Температура внутри кожуха аппарата при этом поднимается до заданной положительной температуры. В результате происходит естественное оттаивание образовавшегося в межтрубном пространстве льда.

Для увеличения теплосъёма с нагревателей и одновременно увеличения ресурса ТЭНов, а также повышения надёжности испарителей для регенерации используются воздушные ребренные ТЭНы с оболочкой из нержавеющей стали (рис. 6).

Развитая площадь поверхности ТЭНов обеспечивает высокий теплосъём при температуре их поверхности, не превышающей +120 °С.

В 2016 г. планируется начать серийный выпуск атмосферных испарителей с принудительной конвек-

цией и системой отогрева.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Иванов К.А., Павлов Н.В.** Современные атмосферные испарители криогенных жидкостей// Технические газы. — 2010. — № 3. — С. 31–34.
2. **Иванов К.А., Павлов Н.В.** Атмосферные испарители высокого давления для газификации сжиженных ПРВ и СПГ// Технические газы. — 2012. — № 3. — С. 28–30.
3. **Иванов К.А., Павлов Н.В.** Использование атмосферных испарителей в системах хранения и газификации жидких криопродуктов// Технические газы. — 2013. — № 4. — С. 70–72.