

Расчетная схема:

1, 6 – ступени компрессора; 2 – промежуточный газоохладитель; 3 – градирня;
4 – АБХМ; 5 – доохладитель сжатого воздуха

Таким образом, использование теплоты сжатия для генерации холода может позволить повысить эффективность работы компрессора на 1 %. Тем самым, учитывая масштабы производства сжатого воздуха, открываются возможности по значительной экономии электроэнергии.

Список литературы

1. Сычков А. Е. Роль эффективных систем охлаждения в современных компрессорных установках // Мегапаскаль. 2009. № 4. С. 36–40.
2. Мартынов А. В. Установки для трансформации теплоты и охлаждения. М. : Энергоатомиздат, 1989. 200 с.

УДК 661.52

Ряпосов А. В., Костромин К. В.¹, Хомяков А. П.²
Свердловский научно-исследовательский институт химического машиностроения¹,
ryantony@mail.ru, kostromin@sniihim.ru
Уральский федеральный университет², a.p.khomiakov@urfu.ru

ПУТИ РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛА В НОВОМ МЕТОДЕ РАЗРУШЕНИЯ СОЛЕЙ АММОНИЯ

Проведены испытания бака-реактора для окислительного разрушения солей аммония. Целью испытаний являлась обкатка оборудования и проверка в укрупненных масштабах режимов окислительного разрушения нитрата аммония, ранее отработанных в лабораторных условиях в Радиевом институте им. В. Г. Хлопина.

В бак-реактор с раствором нитрата аммония подается формалин с заданным расходом. Корпус бака-реактора внутри снабжен змеевиком, чтобы подавать горячий конденсат для обогрева или подавать охлаждающую воду в целях снижения температуры раствора. Снаружи бак-реактор снабжен двумя ленточными нагревателями и теплоизоляцией из минеральной ваты для компенсации теплопотерь.

В данной статье рассмотрены возможности энергосбережения, определяемые природой химического процесса окислительного разрушения иона аммония.

Суть обрабатываемого процесса заключается в окислении иона аммония азотной кислотой в присутствии индуктора, в роли которого выступает формальдегид [1], который вводят в реакцию в виде технического формалина. Механизм процесса характеризуется сложным набором параллельно-сопряженных реакций, и в зависимости от исходных условий процесс может обладать значительным индукционным периодом. Реакции имеют высокие энергии активации и при комнатной температуре практически не идут. Весь процесс в целом является экзотермическим. Тепловой эффект, оцененный экспериментально, равен ~300 кДж на 1 моль добавленного формальдегида. Именно этот факт дает принципиальную возможность для снижения энергозатрат при его проведении.

Рассмотрим конкретнее, как велись эксперименты и что можно было бы поменять в целях энергосбережения.

Все опыты были проведены при исходном заполнении бака-реактора на 30 %. По ходу экспериментов определялись текущая кислотность и концентрация аммония [2]. Концентрацию исходного формалина определяли по методике, приведенной в [3].

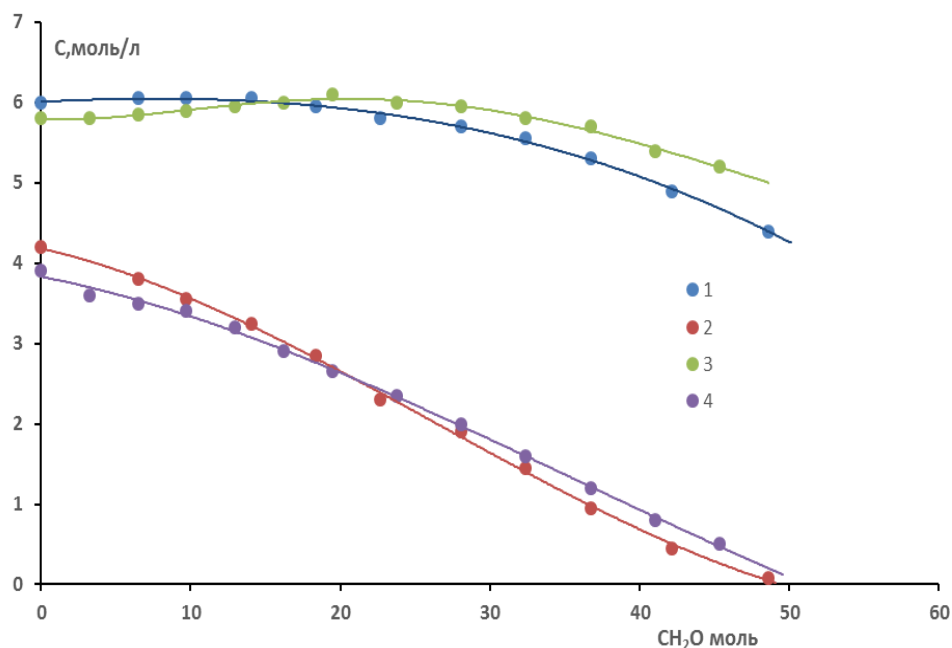
За время испытаний проведены предварительные и количественные эксперименты при температурах от 80 до 100 °С. В предварительных опытах проверялась готовность аппарата с обвязкой к испытаниям и влияние первичной порции формалина на начало реакции.

В количественных опытах первичные дозы формалина не вносились, но следует отметить, что во всех этих опытах реакция начиналась также практически мгновенно – индукционный период не превышает 1 мин.

В количественных опытах раствор в реакторе сначала нагревали до 80 °С, после чего перистальтическим насосом начинали подавать к нему формалин с заданной скоростью. В течение времени от получаса до часа раствор нагревался до нужных рабочих температур (от 80 до 100 °С), и реакция выходила на экзотермический режим. Для поддержания достигнутой температуры поочередно отключались нагревающие устройства, и в дальнейшем температура поддерживалась регулировкой потока охлаждающей воды [4].

Рисунок [4] довольно однозначно указывает на приемлемость температурного коридора от 80 до 100 °С для проведения процесса окислительного разрушения аммония. Таким образом, регулируя скорость подачи формалина, нужно будет вести процесс в интервале температур (90±10) °С. Наличие столь широкого температурного коридора значительно облегчает контроль за процессом.

Первую экономию энергозатрат можно получить, нагревая исходный раствор с аппаратом не до 90 °С, а до 60. После 60 °С внешний нагрев можно будет отключить, а раствор подогреть внесением значительной первичной порции формалина. Реакция при этом начнется практически сразу именно из-за внесения большой иницирующей порции.



Разложение аммония при температурах 85 и 100 °С и скорости подачи формалина 1 л/ч:
 1 – азотная кислота при 85 °С; 2 – нитрат аммония при 85 °С;
 3 – азотная кислота при 100 °С; 4 – нитрат аммония при 100 °С

Тогда на нагреве от 60 до 90 °С можно сэкономить $30C_{\text{апп}}$ кДж тепла, где $C_{\text{апп}}$ – условная теплоемкость аппарата с раствором, равная примерно сумме теплоемкостей самого аппарата и теплоемкости 20 л исходного раствора.

Теплоемкость самого аппарата составит $460 \cdot 80 \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1} \approx 37 \text{ кДж} \cdot \text{К}^{-1}$, где 460 – это удельная теплоемкость стали, из которой изготовлен аппарат, $\text{Дж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}$; а 80 – это вес аппарата, кг. Теплоемкость раствора можно грубо оценить как $20 \text{ кг} \cdot 4,2 \text{ кДж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1} \approx 84 \text{ кДж} \cdot \text{К}^{-1}$. Чтобы поднять температуру от 60 до 90 °С, потребуется: $30 \cdot (37 + 84) = 3630 \text{ кДж}$ тепла. Это тепло можно получить, добавив $12,1 \cdot (3630/300)$ моля формальдегида. Это количество формальдегида содержится в 0,9 л формалина (крепость формалина составила 13,5 моль/л). Такой объем формалина можно будет внести в бак-реактор двумя последовательными порциями, так как объем разовой порции, больший 0,5 л, не рекомендуется по регламенту. При загрузке бака на 60 % экономия тепла составит $30 \cdot (37 + 168) = 6150 \text{ кДж}$.

Еще большую (основную) экономию можно получить, если дальше продолжать процесс в самоподдерживающемся режиме, когда не придется ни подогреть раствор, ни охлаждать его проточной водой. Так, нами экспериментально определена скорость остывания аппарата с 100 по 80 °С после завершения процесса. В среднем она составляет $20/68 \approx 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{мин}$. Чтобы сохранить тепловой баланс, нужно дозировать формалин с интенсивностью, позволяющей нагревать аппарат с раствором с такой же скоростью. Эту скорость можно оценить приближенно по формуле:

$$v = 0,3 \text{ К} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot 60 \text{ мин} \cdot \text{ч}^{-1} \cdot (37 + 84) \text{ кДж} \cdot \text{К}^{-1} / 300 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1} / 13,5 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \approx \approx 0,54 \text{ л/ч.}$$

Весь процесс, таким образом, укладывается в одну рабочую смену и позволяет сэкономить (см. рис.): $\sim 50 \text{ молей} \cdot 300 \text{ кДж/моль} = 15000 \text{ кДж}$ тепла (энергии) за один эксперимент (этим количеством тепла можно нагреть от комнатной температуры до $100 \text{ }^\circ\text{C}$ около 45 л воды).

Авторы выражают благодарность Н. Г. Фирсину, старшему научному сотруднику Радиевого института им. В. Г. Хлопина, за основные идеи и помощь в написании данной статьи.

Список литературы

1. Способ окислительного разрушения солей аммония : пат. 2329554 РФ. МПК G21F / Бартенев С. А., Зильберман Б. Я., Есимантовский В. М., Фирсин Н. Г., Стрелков С. А., Быховский Д. Н., Логунов М. В., Машкин А. Н., Корченкин К. К. Опубл. 2008; Бюл. № 20.
2. Ионы аммония. Титриметрический метод определения в технологических продуктах. СТП 70.22-90.
3. ГОСТ 1625-89. Определение массовой доли формальдегида. Введ. 1990-01-01. М. : Издательство стандартов, 1989. 18 с.
4. Испытания бака-реактора для разрушения солей аммония на выпарном стенде СвердловНИИхиммаш / Звонков И. Н., Костромин К. В., Ряпосов А. В., Демин Д. В., Блажева И. В., Фирсин Н. Г., Хомяков А. П. // Труды СвердловНИИхиммаш. Екатеринбург, 2014. С. 86

УДК 62-42

Санникова Д. Д., Некрасов И. И.
Уральский федеральный университет,
bogolyubovadd@mail.ru

ПРОИЗВОДСТВО ОРЕБРЕННЫХ ТРУБ ДЛЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АГРЕГАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ПРОКАТНОГО И ТРУБОЭЛЕКТРОСВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В настоящее время широкое распространение получили абсорбционные холодильные агрегаты, в конструкциях которых используют трубы с оребренной поверхностью различных видов. Примером таких агрегатов являются чиллеры, которые применяются в системах кондиционирования зданий. Система чиллер-фанкойл является сегодня одним из самых экономически эффективных и востребованных решений в организации центральных многозональных систем кондиционирования [1].

Изготовление труб с внутренним оребрением, применяемых в качестве испарителей абсорбционных холодильных агрегатов, наталкивается на проблемы процесса нанесения ребер на их внутреннюю поверхность (рис. 1).