

# Оптимизация условий технологического процесса с помощью пластинчатых теплообменников

**Автор: М. Эдмен**  
Компания Alfa Laval  
г. Лунд, Швеция

## Введение

Пластинчатые теплообменники нашли широкое применение на установках по производству удобрений в системах генерации пара и конденсата, а также в системах вторичного охлаждения в качестве альтернативы градирням. Поэтому многие владельцы предприятий осознают возможную экономию капитальных затрат и места на площадке.

За последние несколько лет пластинчатые теплообменники стали всё больше использоваться в достаточно сложных технологических процессах. Настоящий доклад ориентирован на объяснение дополнительных преимуществ пластинчатых теплообменников помимо экономии инвестиционных расходов и места на площадке. Мы также рассмотрим вопрос о том, как оптимизировать конструкцию пластинчатого теплообменника в условиях образования отложений, таких например как системы по удалению CO<sub>2</sub> с промежуточными теплообменниками.

## Пластинчатые теплообменники сегодня

При упоминании пластинчатых теплообменников многие промышленники ссылаются на стандартные уплотнённые пластинчатые теплообменники, с которыми они работали на своих предприятиях.

Однако в течение последних десяти лет в конструкцию были внесены значительные изменения, позволившие использовать преимущества пластинчатых теплообменников в более широком диапазоне.

К таким инновациям относятся:

- Вакуумные паровые конденсаторы
- Сварные пластинчатые теплообменники для режимов работы со средним давлением и средней температурой
- Пластинчатые испарители
- Асимметричные конструкции каналов для асимметричных потоков

Все эти специальные разработки позволяют использовать преимущества пластинчатых теплообменников в гораздо большей области применения теплообменников по сравнению с прошлым.

## Пластинчатые теплообменники - эффективность и температуры пересечения

Наиболее известной особенностью пластинчатого теплообменника является то, что его общий коэффициент теплоотдачи до пяти раз выше, чем коэффициент теплоотдачи у кожухотрубных теплообменников.

Хотя наиболее очевидными преимуществами такой высокой эффективности являются экономия инвестиционных расходов и места на площадке, существует и другая особенность, зачастую являющаяся более важным преимуществом для производителей удобрений: возможность создавать температуры пересечения и до 8 единиц переноса тепла в одном одноходовом теплообменнике. Таким образом, пластинчатые теплообменники имеют ряд преимуществ над технологией с

использованием кожухотрубных теплообменников, основанных большей частью на том факте, что в кожухотрубном теплообменнике трудно достичь температур пересечения.

## **Рекуперация тепла**

На сегодняшний день на технологических установках тепло с температурой ниже 100°C часто считается имеющим слишком низкий потенциал, для того чтобы его было экономически выгодно извлекать. Поскольку в пластинчатых теплообменниках легко достичь температур пересечения, возможности рекуперации тепла увеличиваются без существенного роста стоимости теплообменника.

Примеры зон на установках по производству удобрений, где можно утилизировать эту низкопотенциальную теплоту:

- Охлаждение остаточного газа на аммиачных установках
- Системы удаления CO<sub>2</sub> на аммиачных установках
- Установки по очистке пара, конденсата и сточных вод

В дополнение к рекуперации тепла, которое раньше просто не использовалось, во многих случаях можно регенерировать больше энергии в позициях с промежуточными теплообменниками, таких как подогреватели системы выпарки, и промежуточные теплообменники с бедным/насыщенным раствором в типовых системах удаления CO<sub>2</sub>.

При использовании технологии пластинчатых теплообменников можно сделать производственный комплекс гораздо более интегрированным энергетически, чем это было бы возможно при использовании кожухотрубных теплообменников.

## **Экономия энергии компрессора CO<sub>2</sub>**

На многих заводах в аммиачно-карбамидных комплексах кожухотрубный теплообменник используется для охлаждения/конденсации двуокиси углерода перед подачей газа на компрессоры установки производства карбамида. Цель этого процесса – конденсация большей части водяных паров, которые высвобождаются на предыдущем этапе отгонки CO<sub>2</sub>.

В сущности, для технологического процесса выгодно охладить смесь до как можно более низкой температуры, чтобы конденсировать из неё больше водяных паров. Другими словами, усиленное охлаждение означает меньший объём пара на входе в последующий компрессор. Что в свою очередь означает более низкий расход энергии в компрессоре.

Поскольку полностью противоточные пластинчатые теплообменники учитывают температуры пересечения, а теоретический минимальный перепад температур составляет всего лишь 2-3 градуса между выходящим газом и входящей охлаждающей водой, то пластинчатые теплообменники идеально подходят для этой цели.

## **Сниженный расход охлаждающей воды**

Поскольку на практике при эксплуатации кожухотрубных теплообменников трудно достичь температур пересечения, то в результате для удовлетворения конкретной необходимости охлаждения зачастую требуется очень большое количество охлаждающей воды. Так как пластинчатая конструкция позволяет учитывать температуры пересечения, то потребность в охлаждающей воде можно снизить.

Это особенно важно для теплообменников, расположенных выше нулевой отметки, поскольку позволяет сэкономить на затратах на перекачивание.

## **Высокие температуры охлаждающей воды**

Возможность работы с температурами пересечения означает также, что зачастую можно и экономически выгодно работать с охлаждающей водой с более высокими температурами без значительного увеличения стоимости теплообменника. Поскольку можно достичь перепада температур вплоть до 3 градусов Цельсия, проблемы с высокотемпературной охлаждающей водой можно решить с помощью технологии переключения.

## **Пластинчатые теплообменники и тенденция к образованию отложений**

При обсуждении с производителями удобрений пластинчатых теплообменников очень часто затрагивается вопрос образования отложений. Многие полагают, что небольшой зазор между пластинами увеличивает склонность к образованию отложений. Поэтому мы рассмотрим тему образования отложений в частности в пластинчатых теплообменниках. Более подробно мы остановимся на промежуточных теплообменниках системы удаления CO<sub>2</sub>, поскольку это общее оборудование, в котором часто образуются отложения.

## **Сравнение с технологией кожухотрубных теплообменников**

Образование отложений – это общий термин, охватывающий различные факторы, которые снижают эффективность теплопередачи. Перед тем как перейти к обсуждению решений различных проблем образования отложений, важно определить отдельные категории образования отложений и обсудить решение для каждой категории. В этой статье мы обсудим три общих типа образования отложений:

- крупноразмерные частицы
- осаждение тонкодисперсных частиц
- образование накипи

Мы обсудим, как проектировать и эксплуатировать оборудование при условиях, вызывающих эти явления.

## **Осаждение тонкодисперсных частиц**

Осаждение тонкодисперсных частиц имеет место в том случае, если скорость уноса частиц ниже скорости их накопления в любой точке теплообменника. Скорость уноса сильно зависит от касательного напряжения (напряжения сдвига) у стенок или силы потока, действующего на теплообменную стенку. Касательное напряжение, в свою очередь, сильно зависит от турбулентности в теплообменнике. Поскольку турбулентность для любой заданной скорости в пластинчатом теплообменнике гораздо выше, чем в кожухотрубном, то у хорошо спроектированного пластинчатого теплообменника тенденция к образованию отложений ниже, чем у правильно спроектированного кожухотрубного теплообменника. Этот факт был доказан во время различных исследований, проводимых например компанией Heat Transfer Research Inc. (HTRI), а также многими реальными примерами из жизни.

При работе с образующей отложения средой, которая содержит тонкодисперсные частицы, очень важно знать, какие факторы в конструкции пластинчатого теплообменника влияют на касательное напряжение у стенок. После учёта этих факторов результаты проектирования могут сильно отличаться от теоретической конструкции, не учитывающей образование отложений.

## **Крупноразмерные частицы и предметы**

Если технологическая среда или охлаждающая вода содержат крупноразмерные частицы, то эта проблема решается очень просто.

Поскольку зазор между пластинами в стандартной модели пластинчатого теплообменника составляет 2 – 5 мм, то в этом случае крупноразмерные частицы определяются как частицы и объекты, имеющие размер больше половины величины зазора. При эксплуатации оборудования со средой, содержащей такие частицы, естественно, что они будут улавливаться в теплообменнике, т.е.

теплообменник будет работать как фильтр. Очевидным решением является установка фильтра перед теплообменником.

## **Образование накипи**

Образование накипи – одна из наиболее сложных проблем, с которыми приходится иметь дело. В нашем случае образование накипи означает осаждение солей, зачастую вследствие температуры. В принципе существует два типа образования накипи. Их можно назвать «нормальная растворимость» и «обратная растворимость». Например, сахар – это типичное химическое вещество с нормальной растворимостью. Чем выше температура, тем больше сахара можно растворить в воде. С карбонатом кальция, химическим веществом с обратной растворимостью, ситуация иная. Чем выше температура, тем ниже его растворимость.

Поэтому хорошо известен факт, что если в охлаждающей воде присутствует карбонат кальция, то для того чтобы избежать его осаждения очень важно не перегреть воду выше определённой температуры.

Теперь мы рассмотрим случай с промежуточным теплообменником с бедным/насыщенным раствором в типовых системах удаления CO<sub>2</sub>, для того чтобы обсудить, почему на некоторых установках есть проблемы с образованием отложений, тогда как другие установки с пластинчатыми теплообменниками эксплуатируются без проблем.

## **Образование отложений в промежуточных теплообменниках в системах удаления CO<sub>2</sub>**

В большинстве систем удаления CO<sub>2</sub> в качестве основного материала для труб и колонн используется углеродистая сталь. Поскольку абсорбирующие жидкости являются до некоторой степени агрессивными для углеродистой стали, то в процессе работы в абсорбирующую жидкость выделяются ионы железа. Причём скорость их выделения зависит от таких локальных условий как температура, давление и эффективность ингибиторов коррозии.

В среде с высокой концентрацией двуокиси углерода будет образовываться карбонат железа (FeCO<sub>3</sub>). FeCO<sub>3</sub> – это соль с обратной растворимостью, действующая в охлаждающей воде подобно карбонату кальция. Это означает, что образование накипи сильно зависит не только от температуры жидкости, но также и от концентрации двуокиси углерода.

Помимо склонности к образованию накипи абсорбирующие жидкости часто содержат и крупноразмерные, и тонкодисперсные частицы. Это означает, что при проектировании теплообменника следует учитывать все три вышеупомянутых типа образования отложений. При этом перед теплообменником необходимо установить фильтры и на холодной и на горячей стороне, а также создать высокое касательное напряжение. Но также очень важно избежать слишком высоких температур на стороне с насыщенным раствором, где присутствует высокая концентрация двуокиси углерода вместе со свободными ионами железа.

### ***Парадокс коэффициента загрязнения***

У промышленников и подрядчиков есть несколько традиций, которые ведут скорее к увеличению, чем к снижению риска возникновения проблем, связанных с образованием отложений. Традиционно при проектировании такого типа оборудования применяются коэффициенты загрязнения, дабы избежать проблем с образованием отложений. Проектирование потока в теплообменнике очень часто основывается на сценарии «наихудшего варианта», но базовый режим эксплуатации зачастую осуществляется при более низкой скорости потока. Более того, желательно, чтобы степень рекуперации тепла была как можно выше, но при этом допуск по перепаду давления был как можно ниже. И как мы увидим далее, все эти совершенно логичные технические требования зачастую являются основным действующим фактором для проблем с образованием отложений.

Касательное напряжение у стенок напрямую зависит от перепада давления. Если задать низкий допуск перепада давления в случае с традиционной конструкцией с высокой скоростью потока, то

это приведёт к снижению касательного напряжения у стенок. А поскольку касательное напряжение в геометрической прогрессии соотносится со скоростью образования отложений (образование накипи + осаждение), то это может быть основным действующим фактором для проблем с образованием отложений.

Использование в расчётах проектного варианта 20%-го коэффициента загрязнений увеличит поверхность теплообмена на 10% по сравнению с обычными условиями, что будет означать, что теплообменник спроектирован с сильно завышенными требованиями для большинства действующих случаев. На деле это будет означать, что температура на выходе на стороне насыщенного раствора будет изначально гораздо выше, чем было задумано по проекту. Поскольку  $\text{FeCO}_3$  – это соль с обратной растворимостью, то это может привести к тому, что скорость осаждения увеличится до десяти раз или более, что приведёт к быстрому снижению эффективности.

Проектные варианты зачастую очень оптимистичны в отношении того, какой перепад температур можно получить в сравнении с кожухотрубным теплообменником, и при этом не принимается никаких мер против образования отложений. Поэтому температура на выходе из системы пластинчатого теплообменника может стать основной причиной образования отложений с учётом сильно завышенных требований при проектировании и низким допуском по перепаду давления.

Следовательно, если на установке используются колонны или трубы из углеродистой стали, мы советуем:

- Определить проектный вариант как наиболее общий действующий вариант, а не как традиционный проектный вариант, который будет редко встречаться в действительности.
- Быть реалистами при определении перепада температур. Помните, что слишком высокая температура на выходе может привести к проблемам образования накипи.
- Помните, что слишком низкий допуск по перепаду давления вместе с высокими расчётными предельными параметрами установки может привести к очень низкому касательному напряжению у стенок, что приведёт к быстрому увеличению количества чисток оборудования.

## **Заключение**

Мы обсудили несколько областей, в которых можно повысить производительность установки по производству удобрений путём использования пластинчатых теплообменников. И хотя у многих установок технические характеристики похожи, очень важно перед подготовкой окончательного проекта пластинчатого теплообменника детально обсудить с поставщиками возможности, ожидания и проблемы, с которыми приходилось сталкиваться на установке. Некоторые из логических схем, применяемых для проектирования кожухотрубных теплообменников, не подходят для пластинчатых теплообменников, и иногда могут быть действительной причиной проблем, как мы видели в случае с промежуточными теплообменниками систем удаления  $\text{CO}_2$ .