

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра нефтехимии
и техногенной безопасности

**Повышение энергетической эффективности паровых теплообменников
технологического назначения**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента (ки) 4 курса 431 группы

направления 18.03.01 «Химическая технология»

код и наименование направления, специальности

Института химии

Грачевой Юлии Александровны

Научный руководитель

Д.т.н., профессор

должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

Ю.Я. Печенегов

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

Д.х.н., профессор

должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

Р.И. Кузьмина

инициалы, фамилия

Саратов 2018

ВВЕДЕНИЕ

Проведение многих технологических процессов, осуществляемых в химической промышленности, часто бывает связано с необходимостью подвода тепла. Для решения этой задачи применяют различные теплоносители, которые отдают тепловую энергию в теплообменных аппаратах, предназначенных для передачи тепла от одного теплоносителя, нагретого до более высокой температуры, к другому.

В качестве греющего теплоносителя в химической технологии широко применяется насыщенный водяной пар, так как он обладает многими достоинствами по сравнению с другими теплоносителями. Однако использование водяного пара как теплоносителя часто сопровождается значительными его потерями. Встает проблема сбережения данного ресурса, что неразрывно связано с экономией энергии, то есть энергосбережением.

Вопрос энергосбережения является актуальным для нашей страны. Российская энергетика в современном состоянии не может обеспечить значительных темпов роста промышленного производства. Для обновления и реконструкции установок нужны большие средства и значительное время. Частично выходом из сложившейся ситуации является наиболее эффективное использование энергетических ресурсов.

Цель данной работы состоит в разработке энергосберегающего мероприятия, которое позволит повысить энергетическую эффективность паровых теплообменных аппаратов.

Работа представлена на 44 страницах и состоит из четырех глав:

- 1 – Общие сведения о пароиспользующих теплообменных аппаратах;
- 2 – Исследование влияния степени залива конденсатом части поверхности теплопередачи на тепловую эффективность теплообменника;
- 3 – Повышение эффективности теплообменника для нагрева нефти путем залива части его поверхности теплопередачи конденсатом;
- 4 – Экономическая эффективность залива части поверхности теплопередачи конденсатом.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В *первой главе* представлены общие сведения о пароиспользующих теплообменных аппаратах.

По способу передачи теплоты теплообменники делятся на смесительные и поверхностные. В смесительных аппаратах теплота передается при непосредственном смешении рабочих сред. Это обеспечивает более полную передачу теплоты. Но такие теплообменники пригодны только тогда, когда по технологическим условиям производства допустимо смешение рабочих сред. Поэтому чаще используют поверхностные теплообменные аппараты, в которых рабочие среды обмениваются теплотой через стенки теплопроводного материала. Поверхностные теплообменники могут быть регенеративными и рекуперативными.

В первом случае теплоносители попеременно соприкасаются с одной и той же поверхностью нагрева. При этом направление теплового потока в каждой точке стенки периодически меняется.

В рекуперативных теплообменниках теплообмен между различными теплоносителями осуществляется через разделительные стенки. При этом тепловой поток в каждой точке стенки сохраняет одно и то же направление.

К наиболее распространённым теплообменным аппаратам относятся кожухотрубчатые теплообменники. Это обусловлено, прежде всего, надежностью конструкции, большим набором вариантов исполнения для различных условий эксплуатации, широким диапазоном применения по давлению, температурному режиму, потоковым средам, высокой ремонтпригодностью.

В каждом отдельном теплообменном аппарате в переносе теплоты участвуют, по меньшей мере, два теплоносителя: целевой (продукт тепловой обработки) и обеспечивающий, который обеспечивает обработку целевого (его нагрев или охлаждение). Целевой теплоноситель определен технологией, а обеспечивающий обладает свободой выбора. Задача проектировщика аппарата – выбрать такой обеспечивающий теплоноситель, чтобы обеспечить обработку

целевого продукта качественно и с наименьшими затратами. В химической технологии в качестве греющего теплоносителя широкое применение находит насыщенный водяной пар.

Достоинства использования водяного пара как греющего теплоносителя:

1) Высокий коэффициент теплоотдачи при конденсации, вследствие чего – малые площади теплопередачи.

2) При конденсации пара выделяется большое количество теплоты, поэтому невелик расход греющего теплоносителя.

3) При заданном давлении пар имеет постоянную температуру насыщения/конденсации, благодаря чему есть возможность поддержания регулирования температурного режима.

4) Пар можно транспортировать от источника получения до потребителя на большие расстояния.

5) Пар является доступным и пожаробезопасным теплоносителем.

Недостаток использования водяного пара заключается в том, что необходимо повышать давление в системе при желании иметь высокую температуру целевого теплоносителя (более 180°C). Также использование водяного пара как теплоносителя часто сопровождается значительными его потерями.

Потери пара уменьшают путем установки конденсатоотводчиков. Это устройства, которые автоматически пропускают конденсат и задерживают не отработавший в пароиспользующих аппаратах пар. Роль конденсатоотводчиков в обеспечении энергосберегающих режимов работы паровых теплообменников исключительно велика.

Конденсатоотводчики подразделяются на следующие основные типы:

1) Конденсатоотводчики с гидравлическим затвором.

2) Конденсатоотводчики с гидравлическим сопротивлением.

3) Конденсатоотводчики с механическим затвором.

Отвод конденсата посредством гидравлического затвора наиболее простой. В данном случае пролетный пар задерживается столбом жидкости, образующейся во время конденсации пара.

Если в трубопроводе на пути движения конденсата и пара имеются дополнительные сопротивления, вызываемые сужениями прохода и изменениями направления движения, то влияние этих сопротивлений на конденсат и пар будет различно. Удельный вес пара намного меньше удельного веса конденсата, поэтому скорость движения пара выше. Следовательно, значение сопротивлений для пара больше, чем для конденсата. В то время, как при определенном напоре конденсат может преодолеть эти сопротивления и выйти из системы, весовое количество выходящего пара при тех же условиях будет незначительным. Величину местных сопротивлений подбирают так, чтобы через трубопровод проходил только конденсат, а пар задерживался. На этом основано действие конденсатоотводчиков с гидравлическим сопротивлением. Такие конденсатоотводчики имеют различные дросселирующие элементы.

Конденсатоотводчики с механическим затвором по принципу действия подразделяются на термостатические, термодинамические и поплавковые.

Термостатические конденсатоотводчики определяют разницу температур пара и конденсата. Прежде, чем конденсат будет отведен, он должен быть охлажден до температуры ниже температуры сухого насыщенного пара.

Работа термодинамических конденсатоотводчиков основана на разнице скоростей конденсата и пара при протекании в зазоре между седлом и диском (пластинчатый клапан). При прохождении пара скорость в зазоре под диском увеличивается с соответствующим падением давления, и клапан закрывается.

Принцип действия поплавковых конденсатоотводчиков основан на разнице плотности пара и конденсата. Клапан приводится в действие поплавком. По устройству поплавок различают конденсатоотводчики с закрытым и открытым поплавком.

Но даже при установке конденсатоотводчика потери пара не сводятся к минимуму. В большинстве своем потери обусловлены широким применением на предприятиях открытых систем сбора конденсата. В таких системах сборные конденсатные баки имеют вестовую трубу (свечу), через которую в атмосферу выпускается вторичный пар, образующийся из конденсата на пути его следования от теплообменников, а также пролетный пар, который вместе с конденсатом пропускают неэффективно работающие конденсатоотводчики.

Для устранения такого рода потерь, при больших расходах выпускаемого из паровых теплообменников конденсата, его в ряде случаев направляют в сепаратор, где из потока отделяется пролетный и вторичный пар и далее они используются как греющий теплоноситель в дополнительном теплоиспользующем аппарате. Считается, что такая двухступенчатая схема использования теплоты дает возможность уменьшить потери пара через свечи и затворы конденсатных баков, неплотности соединений и увеличить степень возврата конденсата.

Во многих случаях предпочтительнее использование теплоты пара по одноступенчатой схеме. Суть ее состоит в том, что осуществляется переохлаждение конденсата греющего пара путем залива получаемым конденсатом части поверхности теплопередачи в основном теплообменном аппарате. Достаточно глубокое переохлаждение конденсата по отношению к температуре насыщения греющего пара в аппарате позволяет исключить образование вторичного пара и выход пролетного пара.

Дополнительный положительный эффект состоит в том, что при наличии залива и сохраненной тепловой мощности теплообменника уменьшается расход греющего пара по отношению к его расходу при работе без залива. Однако если при этом давления греющего пара при работе без залива и при заливе будут одинаковыми, возникает необходимость в увеличении площади поверхности теплопередачи теплообменника. Если запас площади аппарата отсутствует, нужно увеличить в допустимых пределах давление греющего пара.

Регулировать уровень конденсата в теплообменнике следует путем размещения поплавкового конденсатоотводчика на соответствующей высоте относительно теплообменного аппарата.

Для рассмотрения влияния степени залива конденсатом поверхности теплопередачи парового теплообменника на его эффективность использовались уравнение теплопередачи:

$$Q = Q_n + Q_з = k_n \cdot \{F \cdot (1 - n) \cdot [t_s - 0,5 \cdot (t_3 + t'')] + m \cdot F \cdot n \cdot 0,5 \cdot [(t_s + t_k) - (t_3 + t')]\}, \quad (1)$$

уравнение теплового баланса для паровой части поверхности теплопередачи:

$$Q_n = D \cdot r = G \cdot c_p \cdot (t'' - t_3) \quad (2)$$

и для залитой конденсатом части поверхности теплопередачи:

$$Q_з = D \cdot c_k \cdot (t_s - t_k) = G \cdot c_p \cdot (t_3 - t'), \quad (3)$$

где $Q, Q_n, Q_з$ – передаваемый тепловой поток в теплообменнике, паровой его части и залитой части соответственно, кВт; k_n – коэффициент теплопередачи для паровой части, кВт/(м²·К); F – площадь поверхности теплопередачи теплообменника, м²; $n = F_з/F$ – доля залитой конденсатом площади F ; $F_з$ – площадь залитой части поверхности теплопередачи, м²; t_s и t_k – температуры насыщения пара и конденсата на выходе из теплообменника соответственно, °С; t', t_3 и t'' – температуры нагреваемого теплоносителя соответственно на входе в теплообменник, на границе паровой и залитой частей площади F и на выходе из теплообменника, °С; $m = k_з/k_n$ – относительный фактор интенсивности теплопередачи, где $k_з$ – коэффициент теплопередачи для залитой части, кВт/(м²·К); D и G – расходы греющего пара и нагреваемого теплоносителя соответственно, кг/с; c_p и c_k – теплоемкости нагреваемого теплоносителя и конденсата соответственно, кДж/(кг·К); r – теплота конденсации греющего пара, определяется выражением

$$r = 2562 - 3 \cdot t_s, \text{ кДж/кг} . \quad (4)$$

Во *второй главе* проводились расчеты по уравнениям (1) – (4) с использованием метода итераций при варьировании n в интервале 0,1 – 0,3 и варьировании m от 1 до 0,6 для нагрева воды и $m = 1$ для нагрева воздуха.

В ходе исследования выяснили, что:

1) Работа теплообменников с заливом части поверхности конденсатом позволяет получать существенную экономию греющего пара, увеличивающуюся с ростом n и m .

2) Температура конденсата, выпускаемого из теплообменных устройств, при $n > 0,05 - 0,1$ становится меньше $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, что исключает самовскипание конденсата в транспортной линии.

3) Необходимый запас площади аппарата при $n \leq 0,1$ не превышает 5 %.

4) Увеличение давления греющего пара при отсутствии запаса площади при $n \leq 0,15$ умеренное и не превышает 10 % для воздухонагревателя и 20 % для бойлера.

Исследование влияния степени залива конденсатом части поверхности теплопередачи на тепловую эффективность теплообменников для нагрева воды и воздуха привело к положительным результатам.

В *третьей главе* работы приведен технологический расчет теплообменного аппарата для нагрева нефти, в ходе которого выбран теплообменник с запасом площади теплопередачи 16 %.

Далее в *третьей главе* проводится исследование влияния степени залива конденсатом части поверхности теплопередачи на тепловую эффективность теплообменного аппарата для нагрева нефти.

В ходе исследования получены следующие результаты:

1) Работа теплообменника с заливом части поверхности конденсатом позволяет получать существенную экономию греющего пара, увеличивающуюся с ростом n и m .

2) Температура конденсата, выпускаемого из теплообменных устройств, при $n > 0,06 - 0,11$ становится меньше $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, что исключает самовскипание конденсата в транспортной линии.

3) Необходимый запас площади аппарата при $n \leq 0,1$ не превышает 2 %, а при $n \leq 0,2$ – 10%.

Следовательно, залив части поверхности теплопередачи конденсатом можно считать мероприятием, которое позволит повысить энергетическую эффективность пароиспользующих теплообменников технологического назначения.

В четвертой главе работы рассчитывается экономическая эффективность залива части поверхности теплопередачи теплообменного аппарата для нагрева нефти.

В настоящее время одним из наиболее используемых критериев эффективности является чистый дисконтированный доход, который позволяет оценить ожидаемую максимальную доходность проекта.

По результатам расчетов чистый дисконтированный доход в зависимости от степени залива часть поверхности теплопередачи конденсатом составит от $3,0 \cdot 10^6$ руб/год до $8,7 \cdot 10^6$ руб/год, а установка конденсатоотводчика окупится за время в интервале от 20 до 54 часов в зависимости от достигнутой экономии греющего пара.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной дипломной работы проведен литературный обзор с целью выявления особенностей работы паровых теплообменных аппаратов и конденсатоотводчиков и предложено мероприятие по повышению энергетической эффективности паровых теплообменников.

Исследовано влияние степени залива части поверхности теплопередачи конденсатом на тепловую эффективность аппаратов, используемых для нагрева канонических веществ (бойлер для воды и воздухонагреватель). Рассматривались два случая:

1) В аппарате площадь поверхности теплопередачи завышена по отношению к номинальной.

2) Запас площади поверхности теплопередачи в аппарате отсутствует.

В результате расчетов показано, что переохлаждение конденсата путем залива части поверхности теплопередачи приводит к повышению энергетической эффективности парового теплообменника.

Проведен технологический расчет парового теплообменника для нагрева нефти, исследовано влияние степени залива конденсатом части поверхности теплопередачи на тепловую эффективность выбранного аппарата и рассчитана экономическая эффективность данного мероприятия. В интервале степени залива площади теплопередачи s_n от 0,1 до 0,3 расчетный чистый дисконтированный доход составляет от $3 \cdot 10^6$ руб/год до $8,7 \cdot 10^6$ руб/год. Срок окупаемости предложенного способа повышения энергоэффективности подогревателя нефти составляет от 20 до 54 часов в зависимости от достигнутой экономии греющего пара.

Предложенный способ экономии греющего пара легко реализуем на действующих производствах.