

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

Ультразвуковая безостановочная чистка теплообменного оборудования
автореферат магистерской работы

студента (ки) 2 курса 252 группы

направления 18.04.01 «Химическая технология»

Института химии

Аббасова Самира Бахтияровича

Научный руководитель

профессор, д.х.н.

должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

Р.И. Кузьмина

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.х.н., профессор

должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

Р.И. Кузьмина

инициалы, фамилия

Саратов 2019

Введение

Проблема накипеобразования существует с момента создания паровых котлов и теплообменных аппаратов. Процессы выпаривания, подогрева, термической обработки технологических сред связаны с термическим загрязнением теплообменной поверхности. В теплоэнергетических установках образование накипи создает опасность перегрева и разрыва металла стенки, снижает теплопроизводительность, вызывает перерасход топлива. При толщине слоя накипи 0,5 мм перерасход топлива составляет 1,5 %. Такой же слой накипи снижает производительность выпарной установки сахарного завода на 30 %. Термическое сопротивление накипи для выпарных аппаратов составляет до 60 %, а для некоторых подогревателей — до 80 % от общего сопротивления теплопередаче. При наличии накипи повышается гидравлическое сопротивление теплообменника и возрастают энергозатраты на перекачку продукта. Чистка теплообменной поверхности связана с необходимостью отключения аппарата, установкой дублирующего оборудования [1]. Решение проблемы накипеобразования состоит из нескольких основных аспектов: исследование природы накипи, предупреждение и снижение образования накипи, разработка эффективных методов очистки поверхности, прогнозирование роста термического сопротивления отложений. Очистка теплообменников от накипи производится в среднем от двух до четырех раз в год. Если количество накипи стало угрожающим, то чистка от накипи может производиться внепланово. Причиной такой очистки теплообменников от накипи может быть неправильное использование самого прибора или очень низкое качество исходной воды.

Средств от накипи при таких чистках сегодня используется достаточно много. Выбор зависит от качества накипи, ее размера. Для каждого варианта накипи можно применить тот или иной вариант средства. Очистка теплообменников от накипи бывает как разборная, так и безразборная. Для

определения научной новизны и значимости темы исследования, был проведен анализ литературы по тематике «Безостановочная чистка теплообменного оборудования», проанализированы наиболее известные подходы и результаты отечественных и зарубежных исследователей в данной области, материалы статистики, проведен обзор публикаций в журналах «Энергетик» и «Энергосбережение» [1].

Развитие и внедрение энергосберегающих технологий обуславливает актуальность безреагентных методов снижения скорости образования накипных отложений в теплообменниках. Разработка и внедрение безостановочных технологий очистки теплообменного оборудования позволит увеличить эффективность и коэффициент полезного действия теплообменников на установках химико-технологических процессов.

В результате литературно-библиографических исследований классифицированы подходы к оценке эффективности методов очистки теплообменного оборудования, что позволило осуществить выбор перспективного метода очистки кожухотрубного теплообменника.

Ультразвуковая очистка теплообменника нашла применение не только в удалении накипи с теплообменников, но и с твердых отложений нефтепродуктов.

Магистерская работа Аббасова Самира Бахтияровича «Ультразвуковая безостановочная чистка теплообменного оборудования» представлена на 52 страницах и состоит из трех разделов

1. Литературный обзор;
2. Исследовательская часть;
3. Расчетная часть.

Основное содержание работы

В первом разделе магистерской работы проведен анализ литературных данных, касающиеся методов очистки теплообменного оборудования.

Механическая чистка теплообменных труб подогревателей и выпарных аппаратов проводится вручную с помощью шомполов, шарошек, щеток, бойков, долотов и др. и с помощью специальных приспособлений с электро и пневмоприводами.

Ручная чистка зависит от степени загрязненности трубы и осуществляется в несколько приемов. Если проходное сечение трубы забито полностью, то его пробивают специальным шомполом или высверливают накипь сверлом, закрепленным на штанге. Это разборный вариант очистки теплообменников. Здесь предприятие потерпит убытки, т.к. оборудование придется разбирать и ждать, пока его очистят. За простои придется платить. Для очистки используют специальные механические инструменты, щетки, шарошки с разного рода головками.

Такой вариант очистки теплообменников от накипи считается самым трудоемким. Мало того, очищается все вручную или с применением электропривода, но после такой очистки обязательна еще и промывка, чтобы убрать всю пыль и загрязнения после чистки. Гидравлические способы очистки поверхностей теплообмена основаны на использовании кинетической энергии потока воды, движущейся по трубам со скоростями, значительно превышающими рабочие скорости. Одним из методов повышения скорости является отключение теплообменника от сборного коллектора и свободный слив в емкость или дренаж. Другой разновидностью гидравлического способа очистки является применение гидравлических пистолетов. Очистка каждой трубы проводится струей воды при сравнительно небольшом давлении ее перед пистолетом. Способ пригоден для очистки теплообменников только от легкоудаляемых отложений (песок, ил и др.).

Интенсивность промывки регулируют давлением промывочной воды и скоростью вращения поворотного колена. Промывочная вода может быть использована при давлении 1,6— 2,0 МПа и выше из сети технической воды.

В случае необходимости повышения давления следует предусмотреть установку дополнительного насоса [2].

Сущность метода состоит в том, что в поток воды, подаваемой в аппарат, вводится сжатый воздух. Отложения, удаляемые воздушной смесью, сбрасываются в специальный сборник или в дренаж. Этот способ очистки пригоден только для смыва легкоудаляемых отложений.

К химическим способам очистки выпарных аппаратов относятся кислотный, содово-кислотный, бессодовый, щелочной, фосфатный, коллоидно-химический. Наибольшее распространение получил содово-кислотный способ, заключающийся в последовательном кипячении в аппаратах кальцинированной (или каустической) соды и соляной кислоты. Под действием содового раствора вначале происходит реакция превращения плохо растворимых солей кальция в легкорастворимые в соляной кислоте карбонаты.

К недостаткам содово-кислотного способа очистки выпарных аппаратов от накипи относятся: длительный простой технологического оборудования, значительные потери металла вследствие коррозионного разрушения, большой расход воды (до 2,5 кг на 1 м² поверхности нагрева). Щелочной и фосфатный способы предусматривают использование растворов кальцинированной соды и смеси ее с каустической содой или тринатрийфосфатом, при этом органические вещества накипи выщелачиваются, а плотная сульфатная и силикатная накипи разрыхляются. Щелочные способы рекомендуются для предварительной обработки накипи в целях разрыхления ее перед последующей кислотной или механической очисткой [9].

По сравнению с механической или химической очистками способ непрерывного удаления отложений с помощью резиновых шариков имеет большие преимущества. Опыт применения установок непрерывной очистки

труб конденсаторов резиновыми шариками отечественной и зарубежной энергетикой показывает, что возможно поддержание коэффициента теплопередачи на достаточно высоком уровне — $3500 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$. Применялись шарики из губчатой резины диаметром, который на 1 мм больше внутреннего диаметра трубы. Шарики с большим диаметром (на 2 мм больше диаметра трубы) целесообразно применять в тех случаях, когда перепад давлений в трубе выше 1,2 мм вод. ст.

При плотности шариков немного больше единицы они находятся в воде во взвешенном состоянии. В конденсатор шарики вводятся таким образом, чтобы было обеспечено по возможности равномерное распределение их по трубам. Гидродинамика потока предотвращает попадание нескольких шариков в одну и ту же трубу. Сопротивление, создаваемое шариком, попавшим в трубу, уменьшает скорость входа и следующий шарик увлекается потоком в соседнюю свободную трубу.

Метод очистки водовоздушной смесью заключается в периодической подаче воздуха в воду, охлаждающую работающий конденсатор, что обеспечивает удаление рыхлых илистых и органических отложений, слабо сцепленных со стенкой трубки. Эффект очистки реализуется за счет возникновения дополнительных тангенциальных напряжений в пристенной области и в самих отложениях, флотации воздушными пузырьками дисперсных частиц примесей, уменьшения толщины или возмущения пристенного ламинарного подслоя [3].

При осуществлении водовоздушной очистки конденсатора необходимо организовать равномерное распределение водовоздушной смеси по всему трубному пучку, определить оптимальные и максимально допустимые расходы воздуха при различных расходах охлаждающей воды.

Равномерность распределения водовоздушной смеси по всем трубкам пучка достигается установкой специальных коллекторов различной конструкции во входной водяной камере или напорном водоводе

конденсатора. Равномерность раздачи смеси по пучку зависит от скорости воды в водяной камере. С увеличением скорости воды равномерность распределения смеси повышается.

Электрический сигнал преобразуется магнестрикционным сердечником в механические колебания той же частоты. А поскольку излучатель приварен к защищаемому агрегату и представляет с ним единое целое, ультразвуковые колебания возбуждаются во всей конструкции теплообменника или котла и распространяются как во всей теплообменной поверхности, так и переизлучаются в воду от поверхности [4].

Таким образом, создали в металле и воде непрерывные микроколебания с амплитудой в несколько микрон, которые безопасны для сварки и вальцовки, но разрушительны для карбоната кальция и других твёрдых отложений.

Во втором разделе магистерской работы приведено описание ультразвукового устройства и принцип его работы.

Наряду с традиционными способами - химической подготовкой нагреваемой воды и соблюдением оптимальных температурных и скоростных режимов, применяются и акустические (ультразвуковые) противонакипные устройства.

Акустические противонакипные устройства (АПУ) позволяют обеспечить безнакипный режим работы теплообменников в течение длительного времени, не требует вмешательства в работу теплообменников или изменения их конструкции, не требуют обслуживания и расходных материалов, экологически безопасны и потребляют незначительное количество электроэнергии.

Под действием ультразвука в воде резко (примерно в 1000 раз) возрастает количество центров кристаллизации. Это приводит к переносу процесса образования накипи с теплообменной поверхности в жидкость, в толщу воды, к кристаллизации солей непосредственно в водной массе, что

связано с появлением под действием ультразвука большого количества зародышей кристаллов, к постоянному возникновению, росту и раскалыванию кристаллов солей.

Ультразвук быстро затухает в воздухе, но беспрепятственно распространяется в металле и воде. «Закачка» ультразвука в котлы и теплообменники происходит следующим образом:

К агрегату привариваются ультразвуковые преобразователи - излучатели ультразвука. Внутри излучателя находится сердечник из магнитострикционного материала – это специальный сплав, обладающий способностью менять свои размеры под действием электрического тока, проходящего по обмотке сердечника.

В третьем разделе магистерской работы представлены результаты от применения ультразвукового устройства на практике.

В качестве испытуемого теплообменника был взят один из самых загрязненных теплообменников вакуумного блока установки ЭЛОУ-АВТ-6 на Саратовском НПЗ теплообменник Т-2/2. Данный теплообменник предназначен для нагрева сырой нефти поступающий на блок электрообессоливания. В качестве теплоносителя используется гудрон, поступающий с вакуумной колонны К-10 [5].

Взяты результаты работы теплообменника за 2016-2017 год, для сравнения КПД с применением ультразвукового устройства, приведены в таблице 5.

Для безостановочной чистки было использовано устройство «Акустик-Т». Для наилучших результатов теплообменник вскрывали, прочистили механическим методом. После этого к теплообменнику приваривались излучатели ультразвука к наиболее теплонапряженным частям оборудования – к трубной доске теплообменника. Сварка проводилась электродами ОСТ-12 (сечение 3 мм). Излучатели же подсоединялись к генератору с напряжением

до 1000В. Корпус генератора выполнен из термостойкой пластмассы и имеет брызгозащитное исполнение.

В течении года после пуска теплообменника в работу с использованием ультразвука, проводился внешний осмотр состояния теплообменника, фланцевых и резьбовых соединений. Результаты работы теплообменника Т-2/2 после установки ультразвукового устройства приведены в таблице 6.

В теплообменнике Т-2/2 нагревающим продуктом является гудрон, а нагреваемым нефть.

Таблица 5. Значения холодного и горячего потока до установки АПУ

Дата	Т гудрона до т/о, °С	Т гудрона после т/о, °С	Массовый расход гудрона, кг/час	Т нефти до т/о, °С	Т нефти после т/о, °С	Массовый расход нефти, кг/час	С гудрона	С нефти
2016-2017	190	117	120 000	77	100	340 000	2,09	2,1

КПД теплообменника до установки АПУ:

$$\text{КПД} = \frac{F_n \cdot C_n \cdot (T_{n2} - T_{n1})}{F_r \cdot C_r \cdot (T_{r1} - T_{r2})} * 100\% \text{ где,}$$

F_n – расход нефти;

C_n – удельная теплоемкость нефти;

T_{n2} – температура нефти после т/о;

T_{n1} – температура нефти до т/о;

F_r – расход гудрона;

C_r – удельная теплоемкость гудрона;

T_{r2} – температура гудрона после т/о;

T_{r1} – температура гудрона до т/о.

$$\text{КПД} = \frac{340\,000 * 2,1 * (100 - 77)}{120\,000 * 2,09 * (190 - 117)} * 100\% = 89,69\%$$

Таблица 6. Значения холодного и горячего потока после установки АПУ

Дата	Т гудрона до т/о, °С	Т гудрона после т/о, °С	Массовый расход гудрона, кг/час	Т нефти до т/о, °С	Т нефти после т/о, °С	Массовый расход нефти, кг/час	С гудрона	С нефти
2017- 2018	187	85	70 000	67	83	430 000	2,09	2,1

КПД теплообменника после установки АПУ:

$$\text{КПД} = \frac{430\,000 \cdot 2,1 \cdot (83 - 67)}{70\,000 \cdot 2,09 \cdot (187 - 85)} \cdot 100\% = 96,82\%$$

После применения АПУ для теплообменника Т-2/2 установки ЭЛОУ-АВТ-6 КПД повысился примерно на 7%.

Выводы

1. Проведено испытание ультразвукового воздействия на эффективность работы кожухотрубного теплообменника Т-2/2 нагрева сырой нефти установки ЭЛОУ-АВТ-6.
2. Показано, что применение ультразвукового метода очистки теплообменника Т-2/2 позволило за год работы увеличить КПД на 7%.
3. В ходе экономического расчета на примере Саратовского НПЗ показано, что применение ультразвукового устройства на теплообменном оборудовании позволит уменьшить затраты от разборки и чистки теплообменника примерно на 255 000р/год.
4. Результаты опубликованы в сборнике региональной научно-технической конференции, 2017.

Список литературы

1. Дьяков А.Ф. Безостановочная чистка теплообменного оборудования / А.Ф. Дьяков, Э.П. Волков, Г.Г. Ольховский, Г.Г. Лапин, С.А. Цырук // Энергетик. - 2004. - № 8. – С. 32-56.
2. Эдельман В.И. Развитие механизмов управления надежностью энергоснабжения в современных условиях / В.И. Эдельман. – М.: Энергопрогресс. - 2015. - 55 с.
3. Ольховский Г.Г. Энергетика в производстве / Г.Г. Ольховский, Г.Г. Лапин // Энергетика за рубежом. – 2017. – № 1. – С. 48-69.
4. ООО ИИП «АВОК-ПРЕСС» / Энергосбережение. – 2003. – 2. – С. 12-31.
5. Аронсон К.Э. Теплообменники энергетических установок / К.Э. Аронсон, С.Н. Блинков. – М.: Сократ. - 2015. – 252 с.