



## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ПУТЁМ ОПТИМИЗАЦИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ ПОТОКОВ

Амиркулов Нуритдин Сайфуллаевич

“Ташкентский государственный технический университет имени  
И.Каримова”

кандидат технических наук, доцент

Қодиров Абдувохид Абдуманноф ўғли

### ARTICLE INFO

Received: 05<sup>th</sup> February 2024

Accepted: 11<sup>th</sup> February 2024

Online: 12<sup>th</sup> February 2024

### KEY WORDS

Дистиллятов нефтяных  
фракций, ректификационной  
колонны, нагревания,  
охлаждения, конденсации  
паров, конвекция,  
теплопроводность.

### ABSTRACT

*Техническое и технологическое перевооружение предприятий, интенсификация технологических процессов, совершенствование существующей технологии производства и внедрение новых, энерго-ресурсосберегающих технологий переработки углеводородного сырья являются приоритетными направлениями дальнейшего ускоренного развития нефтеперерабатывающей отрасли экономики Республики.*

В настоящее время, по существующей технологии производства, первичная перегонка углеводородного сырья проводится с применением перегретого водяного пара (до 3,5 % об.), вводимого в кубовой части ректификационной колонны.

Образование в процессе перегонки неоднородной паровой фазы в дальнейшем приводит к ухудшению условия конденсации паров углеводородного сырья при наличии пленки воды на теплопередающей поверхности аппаратов, препятствует интенсивному протеканию тепло- и массообменных процессов и снижает технологическую эффективность оборудования.

Образованного «загрязненного» конденсата в дальнейшем следует отделить и очистить от топливных фракций.

Кроме этого, конденсат водяного пара усиливает коррозии рабочих поверхностей оборудования и трубопроводов, а для снижения скорости коррозии требуется применение ингибиторов коррозии.

По этим причинам, в технологическом плане целесообразным является раздельное проведение процессов конденсации, и охлаждения неоднородной паровой смеси, выходящей из ректификационной колонны.

В этом аспекте большое научно-практическое значение имеет применение новой технологии сухой перегонки нефтегазоконденсатного сырья, разработанной в лаборатории «Процессов и аппаратов химической технологии» ИОНХ АН РУз.

Сущность новой технологии сухой перегонки углеводородного сырья заключается в использовании альтернативного (взамен водяного пара) теплоносителя - паров



нефтяных фракций, выходящих из ректификационной колонны при высоких температурах.

Основным преимуществом углеводородного теплоносителя является их низкая теплота конденсации (250÷350 кДж/кг), что в среднем 7÷8 раза меньше теплоты конденсации водяного пара (2260 кДж/кг).[1]

Однако, в литературе отсутствуют научно обоснованные сведения об использовании углеводородных паров в процессах теплообмена - нагревания, охлаждения и конденсации, проводимых в стадии первичной перегонки нефтегазоконденсатного сырья.

Поэтому исследование процессов охлаждения углеводородных паров, входящих из верхней части ректификационной колонны, с целью интенсификации теплопередачи в трубчатых аппаратах, сокращения расхода тепло-, и хладоносителей и выработка рекомендаций по повышению эффективности промышленных аппаратов воздушного и водяного охлаждения, входящих в состав установки первичной перегонки нефти, является актуальной задачей.

Таким образом, основной целью является интенсификация процесса теплопередачи при воздушном охлаждении углеводородных паров и нефтяных дистиллятов в трубчатых аппаратах, и разработка рекомендаций по повышению энергетической эффективности промышленных аппаратов воздушного и водяного охлаждения, входящих в состав установки первичной перегонки нефти.

Указанные выше цели диссертационного исследования соответствуют приоритетным направлениям развития нефтегазовой отрасли, техническому и технологическому перевооружения нефтеперерабатывающих заводов и реализации мер по сокращению энергоемкости производства.

Объектами исследования являются: углеводородные пары, дистилляты бензиновых фракций различной степени влажности, атмосферный воздух и воды для охлаждения.

Предмет исследования: трубчатые аппараты воздушного и водяного охлаждения нефтеперерабатывающих заводов.[3]

Результаты:

- установлены влияния теплофизических свойств углеводородных паров, дистиллятов нефтяных фракций и хладоносителя (воздуха), а также степени влажности паров на эффективность теплоотдачи в воздушном охладителе;

- установлены влияния температуры, давления, расхода и влажности паровой фазы, а также скорости и температуры охлаждающего воздуха на эффективность процесса охлаждения углеводородных паров трубчатом аппарате;

- выполнен расчет коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи, движущей силы и др., применительно к процессам охлаждения углеводородных паров и их дистиллятов потоком воздуха;

- установлено влияние режимных факторов на степень интенсификации теплоотдачи при охлаждении углеводородных паров и дистиллятных фракций воздушными потоками;



- определены рациональные значения конструктивно-технологических параметров трубчатых аппаратов воздушного охлаждения для углеводородных паров и нефтяных дистиллятов.

Выполняемых исследований заключается в следующем:

1. На основании экспериментальных исследований теоретически закреплены конструктивно-технологические аспекты интенсификации теплопередачи в процессах охлаждения паров и дистиллятов бензиновых фракций в трубчатом аппарате в воздушной среде.

2. Разработана методика уточненного расчета коэффициентов теплоотдачи в трубчатом аппарате для охлаждения паров и дистиллятов бензиновых фракций, имеющих различную степень влажности.

Это позволит снизить расход хладагентов и энергетических ресурсов, уменьшить потребной поверхности охлаждения аппаратов при проектировании за счет увеличения коэффициента теплопередачи и уменьшить их габаритных размеров.[6]

Результаты, полученные в ходе исследований, дают возможность рассчитывать рациональные значения конструктивных и технологических параметров трубчатых аппаратов для охлаждения паров и дистиллятов бензиновых фракций воздушным способом.

Основные работы:

- анализированы теории и практики процессов теплообмена при охлаждении углеводородных паров, выходящих из верхней части ректификационной колонны установки первичной перегонки нефти нефтеперерабатывающих предприятий;

- анализированы конструктивно-технологических особенностей основных типов трубчатых аппаратов, предназначенных для воздушного охлаждения углеводородных паров и дистиллятных фракций в нефтеперерабатывающей промышленности;

- произведен сопоставительный анализ эффективности работы промышленных аппаратов воздушного охлаждения нефтеперерабатывающих предприятий;

- критически анализированы современные методы интенсификации теплообмена в трубчатых теплообменных аппаратах нефтеперерабатывающих предприятий;

- определены основные теплофизические свойства паров и дистиллятов бензиновых фракций расчетно-экспериментальным способом;

- экспериментальным путем изучены влияния влажности и теплофизических свойств углеводородных паров и дистиллятов бензиновых фракций на процесс теплопередачи при воздушном способе их охлаждения в трубчатом аппарате;

- экспериментальным путем исследованы влияния режимных параметров процесса охлаждения (температуры, давления, расхода и влажности) паров и дистиллятов бензиновых фракций на эффективность теплоотдачи в опытном аппарате воздушного охлаждения;

- установлено влияние температуры и расхода воздуха на эффективность теплоотдачи в опытном аппарате воздушного охлаждения;

- рассчитаны коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи, движущей силы и др., применительно к процессам охлаждения паров и дистиллятов бензиновых фракций потоком воздуха;



- произведен расчет материально-теплого баланса процесса охлаждения паров и дистиллятов бензиновых фракций воздушным способом;
- произведена оценка технико-экономической эффективности предлагаемого способа интенсификации теплоотдачи в трубчатом аппарате для охлаждения паров и дистиллятов бензиновых фракций воздушным способом;
- выполнен расчет трубчатого аппарата для охлаждения паров и дистиллятов бензиновых фракций воздушным способом.

Методы исследования:

- стандартные методы определения физико-химических и теплофизических свойств жидкостей и паров;
- методы планирования экспериментов;
- статистические методы обработки экспериментальных данных;
- апробированные и общепринятые методики проведения опытов с использованием точных методов измерения и современных контрольно-измерительных приборов.

Реализация основных результатов диссертационной работы будут использованы в НИР, выполняемые совместно с Бухарским НПЗ.

Перенос энергии в форме теплоты, происходящий между телами, имеющими различную температуру, называется теплообменом. Теплота переносится из области с большей температурой в область с меньшей температурой. Движущей силой любого процесса теплообмена является разность температур более и менее нагретой среды. Теплообмен между средами и телами представляет собой обмен энергией между молекулами, атомами и свободными электронами. Среда - жидкие и газообразные, участвующие в теплообмене, называются теплоносителями.[8]

Тепловые процессы (нагревания, охлаждения, конденсации паров, выпаривания) имеют большое значение для проведения многих массообменных и химических процессов.

Различают три принципиально различных элементарных способа распространения теплоты: теплопроводность, конвекция и тепловое излучение.

Теплопроводность представляет собой процесс переноса теплоты вследствие беспорядочного (теплого) движения микрочастиц, непосредственно соприкасающихся друг с другом. Это движение молекул газа или жидкости, колебание атомов или диффузия свободных электронов. В чистом виде теплопроводность существует только в твердых телах. В газообразных и жидких средах теплопроводность сопровождается конвекцией.

Конвекция - процесс переноса теплоты вследствие движения и перемешивания макроскопических объемов газа или жидкости. В зависимости от причины, вызывающей это перемещение, различают свободную и вынужденную конвекцию.

Свободная конвекция предполагает перемещение жидкости или газа, вызванное разностью плотностей в различных точках пространства вследствие различия температур. При вынужденной конвекции перемещение потоков жидкости или газа происходит вследствие затраты механической энергии.



Тепловое излучение - это процесс распространения теплоты посредством электромагнитных волн инфракрасной области спектра, обусловленный тепловым движением атомов или молекул излучающего тела.

Если передача теплоты происходит одновременно всеми способами или хотя бы двумя из них, такой процесс называют сложным теплообменом. Примером сложного теплообмена является процесс распространения теплоты в газовых средах одновременно конвекцией и тепловым излучением.

Теплопроводность. Процесс теплопроводности представляет собой перенос теплоты вследствие беспорядочного (теплого) движения микрочастиц, непосредственно соприкасающихся друг с другом.[10]

Теплопроводность в общем случае сопровождается изменением температур в пространстве и времени совокупность мгновенных значений температур во всех точках рассматриваемого пространства называется температурным полем. Поверхности, имеющие равные температуры, называют изотермическими поверхностями.

Следует различать стационарное и нестационарное температурное поле. При стационарном поле температура изменяется лишь в пространстве и не изменяется во времени, поэтому является функцией осей координат:

$$t=f(x,y,z) \text{ или } \frac{\partial t}{\partial \tau} = 0 \quad (1.1)$$

Нестационарное поле характеризуется изменением температур, как в пространстве, так и во времени. Математической формулировкой нестационарного температурного поля служит выражение:

$$t = f(x,y,z,\tau) \quad (1.2)$$

Одной из основных характеристик температурного поля является его температурный градиент. Температурный градиент - вектор, направленный по нормали к изотермической поверхности в сторону увеличения температуры и численно равный частной производной от температуры по этому направлению:

$$\text{grad } t = \frac{\partial t}{\partial n} \quad (1.3)$$

При изучении явления теплопереноса вводятся понятия теплового потока ( $Q$ ) и плотность теплового потока ( $q$ ).

Тепловой поток - количество теплоты, проходящее в единицу времени:

$$Q = \frac{Q'}{\tau}, \quad (1.4)$$

где  $Q'$  - количество теплоты, Дж;  $\tau$  - время, с;  $Q$  - тепловой поток, Вт.

Плотность теплового потока (удельный тепловой поток) - количество теплоты, прошедшее через единицу поверхности в единицу времени [8-10,16-18]:

$$q = \frac{Q'}{F\tau} = \frac{Q}{F}, \quad (1.5)$$

где  $F$  - площадь поверхности, м<sup>2</sup>;  $q$  - плотность теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>.

Основой описания процесса теплопроводности является закон Фурье, согласно которому количество теплоты  $dQ$ , передаваемое посредством теплопроводности через



элемент поверхности  $dF$ , перпендикулярный тепловому потоку, за время  $d\tau$  прямо пропорционально температурному градиенту  $\frac{\partial t}{\partial n}$ , поверхности  $dF$ , времени  $d\tau$  и коэффициенту теплопроводности  $\lambda$ :

$$dQ' = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF d\tau \quad \text{или} \quad q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n}. \quad (1.6)$$

Знак «-» в уравнении (1.6) указывает на то, что направление теплового потока противоположно вектору температурного градиента, это объясняется тем, что в природе теплота самопроизвольно переходит всегда из области с большей температурой в область с меньшей температурой.

Коэффициент теплопроводности  $\lambda$  показывает, какое количество тепла проходит вследствие теплопроводности в единицу времени через единицу поверхности теплообмена при падении температуры на 1 град на единицу длины нормали к изотермической поверхности,

$$[\lambda] = \left[ \frac{dQ \partial n}{\partial t dF d\tau} \right] = \left[ \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}}{\text{град} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{сек}} \right] = \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}} \right].$$

Для практических расчетов необходимо иметь выражение для определения теплового потока, проходящего через поверхность заданной конфигурации и площади.

При проектировании теплообменных аппаратов наиболее часто встречаются расчеты теплопроводности плоских и цилиндрических стенок.

Для плоской стенки толщиной  $\delta$  из уравнений (1.5) и (1.6) имеем:

$$Q = qF = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} F. \quad (1.7)$$

Интегрируя (1.7) в пределах от  $n=0$  до  $n=\delta$  и от  $t=t_{cm1}$  до  $t=t_{cm2}$ , получим:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{ct1} - t_{ct2}) F. \quad (1.8)$$

Для трубы с внутренним радиусом  $r_{вн}$  и наружным  $r$  площадь цилиндрической поверхности равна:

$$F = 2\pi r l \quad (1.9)$$

где  $r$  - средний радиус трубы, м;  $l$  - длина трубы, м.

Таким образом, из уравнения (1.7) имеем:

$$Q = qF = -\lambda \frac{\partial t}{\partial r} 2\pi r l. \quad (1.10)$$

Разделяя переменные:

$$Q \left( \frac{dr}{r} \right) = -2\pi l \lambda \cdot dt \quad (1.11)$$

и интегрируя:

$$Q \int_{r_{вн}}^{r_H} \frac{dr}{r} = -2\pi l \lambda \cdot \int_{t_{ct1}}^{t_{ct2}} dt \quad (1.12)$$



получим:

$$Q = \frac{2\pi l(t_{CT1} - t_{CT2})}{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{r_H}{r_{BH}}}$$

(1.13)

При использовании уравнений (1.8.), (1.13) для практических расчетов необходимо иметь значение коэффициента теплопроводности  $\lambda$ . Численное значение  $\lambda$  зависит от физико-химических свойств теплопроводящего материала, температуры и давления. Влияние давления на значение  $\lambda$  проявляется лишь в газовой среде.

Для твердых тел и жидкостей этим влиянием можно пренебречь. В настоящее время аналитическое определение значений коэффициентов теплопроводности различных материалов весьма затруднительно.

Поэтому коэффициенты теплопроводности находят экспериментальным путем. Для большинства материалов они найдены и приводятся в справочной литературе.[13]

Однако дальнейшее развитие химической технологии, способствующее получению новых веществ и материалов, ставит задачи по совершенствованию методов определения коэффициентов теплопроводности.

На практике часто для определения коэффициентов теплопроводности применяют метод цилиндрического слоя. Коэффициент теплопроводности в этом случае определяют при установившемся процессе теплообмена из выражения:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \ln \frac{r_H}{r_{BH}}}{2\pi l(t_{CT1} - t_{CT2})} \quad (1.14)$$

## References:

1. Танатаров М.А., Ахметшина М.Н., Фасхутдинов Р.А. Технологические расчеты установок переработки нефти. – М.: Химия, 1987г. -352 с.
2. Трубчатый теплообменник: Пат.2350873 Россия, МПК F 28 D 7/00 (2006.01). Брянск. ГТУ, Анисин А.А. № 2007108114/06; Заявл. 05.03.2007г; Оpubл. 27.03.2009г. Рус.
3. Трубный теплообменник Пат. 2359191 Россия, МПК F 28 D 7/00 (2006.01). ОАО Куйбышев Азот, Кузнецов С.Н., Ардамаков С.В., М 2007117887/06; Заявл. 14.05.2007г; Оpubл. 20.06.2009г. Рус.
4. Теплообменник. Heat exchanger: Пат. 7044208 США, МПК<sup>8</sup> F 28 F 9/02. DENSO Corp., Kawakubo Masaaki, Kawachi Norihide, Muto Ken, Yamamoto Ken, Hasegawa Etsuo, Katoh Yoshiki. № 10/361657; Заявл. 02.10.2003г; Оpubл. 16.05,2006г; Приор. 19.02.2002г, № 2002г-041332 (Япония); НПК 165/173. Англ.
5. Интенсификация теплообмена. Успехи теплопередачи, 2 // Под ред. проф. Жукаускаса А.А. и проф. Калинина Э.К. - Вильнюс, Мокслас, 1988г. - 188 с.
6. Дрейцер Г.А. О некоторых проблемах создания высокоэффективных трубчатых теплообменных аппаратов // Новости теплоснабжения, №5, 2004г.



7. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки: Справочник /Рабинович Г.Г., Рябых П.М., Хохряков П.А. и др.; Под ред. Е.Н.Судакова. – 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Химия, 1979г. - С.551,
8. Салимов З.С., Худайбердиев А.А. К расчету коэффициентов теплоотдачи в опытном двухтрубчатом теплообменнике // Журнал Нефти и газа Узбекистана, – № 4, 2011г. – С. 40-43.
9. Салимов З.С., Худайбердиев Абдукарим.А., Хурмаматов А.М., Худайбердиев А.А. К расчету теплоёмкости углеводородного сырья 2011г. –№ 4. – С. 32-35.
10. Новые компактные теплообменники. *Wendeln statt Glattrohre. Chem. Plants + Process.* 2005, Прил. Top Prod. 2005г, с. 50-51, 3 «л. Нем.; рез. англ.
11. Красникова О.К., Попов О.М., Удут В.Н. Новые конструкции эффективных витых трубчатых теплообменников // Нефтегазовые технологии. – 2000г. № 5-6. –С. 10-11.
12. Красникова О.К. Витой трубчатый теплообменник со статически однородной структурой расположения труб // Химическое и нефтяное машиностроение. – 2002г. -№ 5. – С. 42-45.
13. Шамова Н.А. Новые методы расчета физико-химических свойств нефтяных углеводородных систем: Дис...канд.техн.наук. - Уфа, 2006. - 95 с.