



УДК 658.264

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ УСТОЙЧИВЫХ ВОДО-МАЗУТНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGY FOR PRODUCING STABLE WATER-OIL EMULSION

Васильев Пётр Сергеевич

кандидат технических наук,
старший преподаватель кафедры
процессов и аппаратов химических
и пищевых производств,
Волгоградский государственный
технический университет
nestorvv@mail.ru

Дрюков Виталий Александрович

магистрант кафедры
процессов и аппаратов химических
и пищевых производств,
Волгоградский государственный
технический университет
vit6131@gmail.com

Рева Леонид Саввич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры
процессов и аппаратов химических
и пищевых производств,
Волгоградский государственный
технический университет
pahp@vstu.ru

Аннотация. В работе приводится описание конструкции и пример расчёта комбинированного теплообменного аппарата для получения устойчивых водо-мазутных эмульсий, значительно превосходящего существующие аналоги по эффективности работы.

Ключевые слова: топливо, водо-мазутная эмульсия, устойчивость, комбинированный теплообменный аппарат.

Vasilyev Pyotr Sergeevich

PhD, Senior lecturer of the department
Processes and Apparatus of Chemical
and Food Production,
Volgograd State Technical University
nestorvv@mail.ru

Dryukov Vitaly Aleksandrovich

Master student of the department
Processes and Apparatus of Chemical
and Food Production,
Volgograd State Technical University
vit6131@gmail.com

Reva Leonid Savvich

PhD, Associate Professor of the department
Processes and Apparatus of Chemical
and Food Production,
Volgograd State Technical University
pahp@vstu.ru

Annotation. A description of the design and calculation of the combined heat exchanger for obtaining stable water-fuel oil emulsions, significantly superior to existing counterparts in work efficiency.

Keywords: fuel, water-oil emulsion, stability, combined heat exchanger.

Основным источником теплоты в химической и нефтехимической отраслях промышленности являются теплоэнергоцентралы (ТЭЦ), вырабатывающие за счёт сгорания твёрдого, жидкого и газообразного топлива водяной пар и электрическую энергию.

Актуальные в настоящее время задачи энергосбережения и экологической безопасности при работе энергетических топливных установок решаются в том числе использованием в качестве жидкого топлива водо-мазутных эмульсий (ВМЭ). В процессе глубокой переработки нефти мазут сильно обводняется, и удалить эту влагу крайне проблематично из-за близкой плотности мазута и воды. Однако добавка в топочные мазуты до 18 % воды способствует более полному сгоранию топлива и, как следствие, уменьшению количества вредных выбросов в атмосферу [1].

При этом использование мазута и ВМЭ в качестве топлива связано с рядом проблем. Ввиду высокой вязкости топочных мазутов и их высокой температуры застывания мазут должен постоянно циркулировать по трубопроводной системе топливно-транспортного хозяйства ТЭЦ при температуре не ниже 60–70 °С. Кроме того, ВМЭ для предотвращения её расслаивания и повышения качества необходимо обрабатывать в диспергирующих аппаратах (рис. 1).

В настоящее время для нагрева ВМЭ используются кожухотрубчатые и секционные подогреватели. Опыт их многолетней промышленной эксплуатации выявил следующие недостатки: значитель-



ные габариты и высокая металлоёмкость, невысокие значения коэффициента теплопередачи – около 175 Вт/(м²·К), затруднённая очистка теплообменных поверхностей от накапливающихся на них отложений мазута [1, 2].

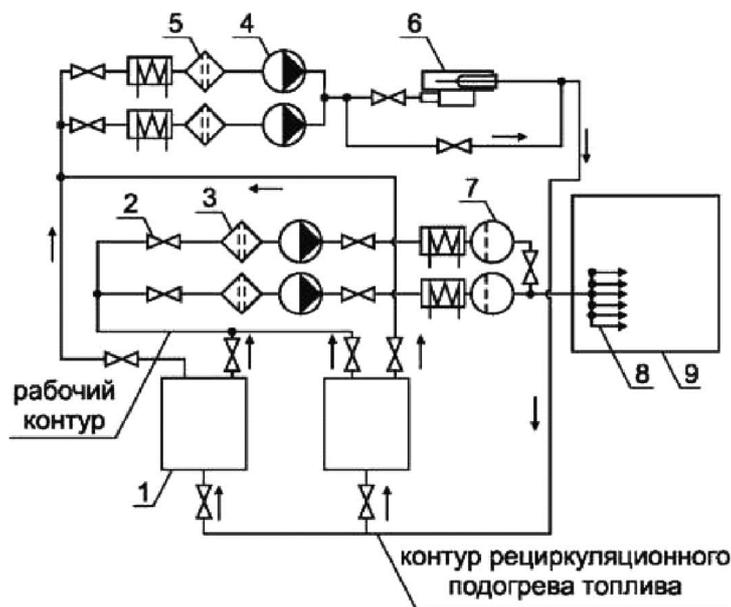


Рисунок 1 – Технологическая схема топливно-транспортного цеха ТЭЦ [1]:

- 1 – расходные ёмкости мазута; 2 – запорная арматура; 3, 5 – фильтры грубой очистки; 4 – насосы;
- 6 – диспергатор; 7 – фильтры тонкой очистки; 8 – распыливающие форсунки; 9 – паровой котёл

Наиболее эффективными аппаратами для создания устойчивых ВМЭ являются роторные и дисковые диспергаторы. Их принцип действия основан на воздействии на ВМЭ ударных волн, возникающих при схлопывании кавитационных пузырьков, которые образуются в результате разрывов жидкости, находящейся между движущимися роторами или дисками. Такие аппараты позволяют обеспечить высокое качество эмульсий, но обладают невысокой производительностью (20–30 м³/час) и высокой потребляемой мощностью (20–30 кВт). С целью уменьшения энергозатрат целесообразно применение статических гидродинамических и кавитационных смесителей, в которых отсутствуют подвижные элементы, что делает их работу более надёжной и снижает энергозатраты к минимуму. Однако они обладают повышенным гидравлическим сопротивлением, и за счёт недостаточной турбулизации потока зачастую не могут обеспечить заданного качества эмульсии [1].

Наиболее перспективным в настоящее время вариантом совершенствования применяемого оборудования и технологии процесса в целом является использование комбинированных аппаратов, совмещающих проведение нескольких процессов одновременно в одном аппарате. Такое совмещение процессов позволяет более полно использовать исходное сырьё, увеличить качество получаемой продукции, снизить энергетические, капитальные и иные виды затрат.

Примером комбинированного оборудования, применяемого для получения устойчивых ВМЭ может послужить кавитационный смеситель-подогреватель (рис. 2). Принцип его работы основан на формировании кавитационного режима течения в проходах, образованных канавками, и схлопывании кавитационных пузырьков в пространстве между стержнями, в результате чего происходит интенсивное дробление потоков обводнённого мазута. Одновременный подогрев обрабатываемой в аппарате ВМЭ способствует повышению её качества. Недостатками конструкции являются сложность сборки пакетов стержней и обеспечения необходимой герметичности соединений, а также недостаточная интенсивность перемешивания потоков за счёт статичности процесса [3].

В качестве наиболее совершенной и эффективной конструкции комбинированного теплообменного аппарата для получения устойчивых ВМЭ предлагается вертикальный односекционный теплообменник типа «труба в трубе» с псевдооживленным зернистым слоем в трубном пространстве. В межтрубное пространство аппарата подаётся водяной пар, а в трубное – водо-мазутная смесь. Применение псевдооживленного зернистого слоя способствует, во-первых, значительной интенсификации процесса перемешивания, что позволяет в больших объёмах получать качественную (устойчивую) ВМЭ, во-вторых, повышает интенсивность теплоотдачи от теплообменной поверхности внутренней трубы аппарата к нагреваемой ВМЭ, выравнивая при этом температуру стенки по высоте, а, в-третьих, не позволяет образовываться отложениям мазута со стороны псевдооживленного слоя по всей его высоте [4, 5].

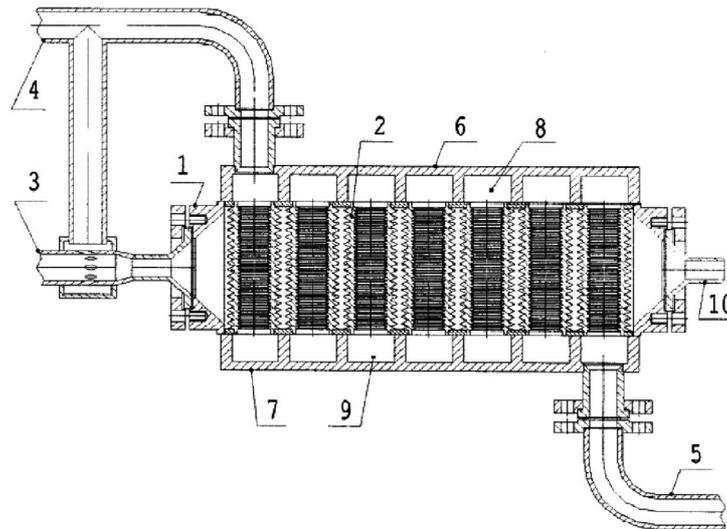


Рисунок 2 – Смеситель-подогреватель для получения ВМЭ [3]:
 1 – корпус; 2 – стержни; 3 – ввод смеси; 4 – ввод теплоносителя; 5 – вывод теплоносителя; 6, 7 – крышки;
 8, 9 – каналы; 10 – вывод ВМЭ

Для предлагаемого комбинированного теплообменного аппарата разработана инженерная методика расчёта, блок-схема которой представлена на рисунке 3, а основные результаты модельного расчёта – в таблице. Ниже приведены основные расчётные зависимости [4].

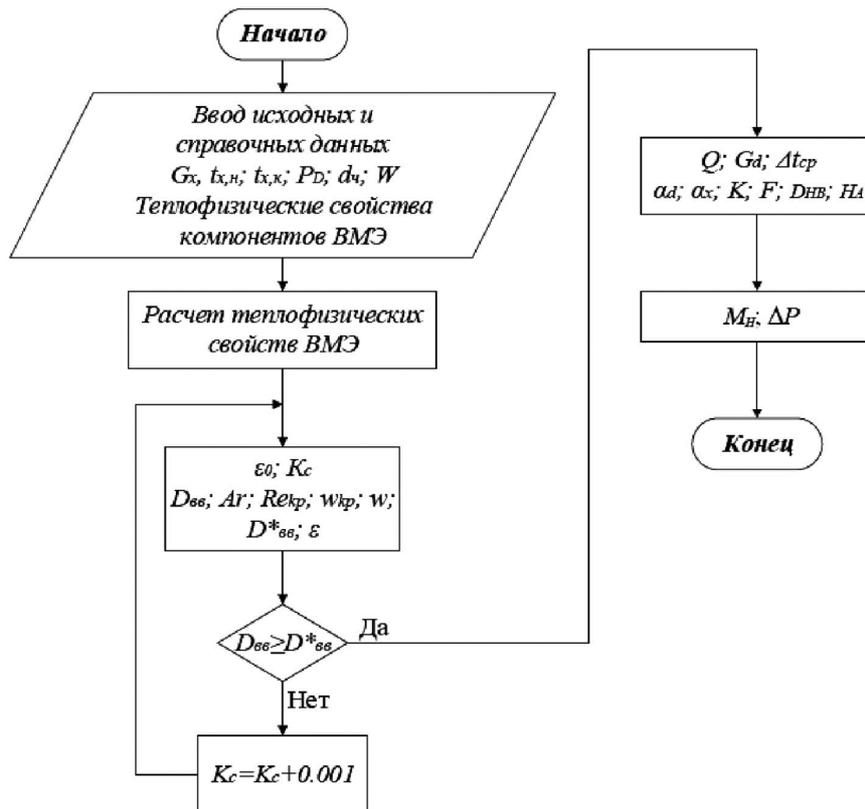


Рисунок 3 – Блок-схема расчёта комбинированного теплообменного аппарата для получения устойчивых ВМЭ

Внутренний диаметр внутренней трубы аппарата зависит от свойств зернистого слоя и условия обеспечения оптимальных условий псевдооживления:

$$D_{ВВ} = -\frac{0,5 \cdot d_{ч}}{\ln K_C}, \tag{1}$$

где $K_C \in (0,6; 1)$ – коэффициент стеснённости псевдооживления.



Критическое значение критерия Рейнольдса, соответствующее началу псевдооживления:

$$Re_{kr} = \frac{Ar \cdot \varepsilon_0^{4,75} \cdot K_C}{18 \cdot \varphi_{\Gamma}^2 + \sqrt{\frac{\varphi_{\Gamma} \cdot \varphi_{\Phi}}{3} \cdot Ar \cdot \varepsilon_0^{4,75} \cdot K_C}}, \tag{2}$$

где φ_{Γ} и φ_{Φ} – соответственно коэффициент удельной поверхности частиц и коэффициент формы и шероховатости частиц.

Порозность псевдооживленного зернистого слоя при рабочей скорости движения ВМЭ:

$$\varepsilon = \left(\frac{\sqrt{\frac{\varphi_{\Gamma} \cdot \varphi_{\Phi}}{12} \cdot Re} + \sqrt{\frac{\varphi_{\Gamma} \cdot \varphi_{\Phi}}{12} \cdot Re^2 + 18 \cdot \varphi_{\Gamma}^2 \cdot Re}}{\sqrt{Ar \cdot K_C}} \right)^{0,42}. \tag{3}$$

Таблица – Основные результаты модельно расчёта

n/n	Исходные данные			
1	Производительность по нагреваемой ВМЭ (содержание мазута М-60 – 82 %)	кг/час	G_X	4600
2	Начальная температура нагреваемой ВМЭ	°С	$t_{x,н}$	50
3	Конечная температура нагреваемой ВМЭ	°С	$t_{x,к}$	90
4	Давление греющего пара	ат	P_D	6
5	Диаметр частиц зернистого слоя (округлые керамические шары: $\varphi_{\Gamma} = 1,18$; $\varphi_{\Phi} = 1,27$)	мм	d_c	3
6	Число псевдооживления	–	W	3,4
Расчётные параметры				
7	Тепловая нагрузка	кВт	Q	124
8	Расход греющего пара	кг/час	G_d	214
9	Порозность зернистого слоя, соответствующая началу псевдооживления	м ³ /м ³	ε_0	0,48
10	Коэффициент стеснённости псевдооживления	–	K_C	0,987
11	Внутренний диаметр внутренней трубы	мм	$D_{ВВ}$	119
12	Критерий Архимеда	–	Ar	105
13	Критическое значение критерия Рейнольдса	–	Re_{kr}	46
14	Скорость начала псевдооживления	м/с	w_{kr}	0,035
15	Рабочее значение критерия Рейнольдса	–	Re	156
16	Рабочая скорость движения ВМЭ	м/с	w	0,121
17	Рабочая порозность зернистого слоя	м ³ /м ³	ε	0,71
18	Коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося пара к наружной поверхности вертикальной трубы	Вт/(м ² ·К)	α_d	5510
19	Коэффициент теплоотдачи от стенки внутренней трубы к псевдооживленному ВМЭ зернистому слою	Вт/(м ² ·К)	α_x	2650
20	Коэффициент теплопередачи	Вт/(м ² ·К)	K	1210
21	Средняя движущая сила процесса теплопередачи	°С	Δt_{CP}	87,3
22	Поверхность теплопередачи	м ²	F	1,175
23	Масса загружаемой в аппарат зернистой насадки	кг	M_n	29,4
24	Гидравлическое сопротивление псевдооживленного слоя	кПа	ΔP	8,6
25	Внутренний диаметр наружной трубы	мм	$D_{НВ}$	138
26	Общая высота аппарата	мм	H_A	3470

Коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося греющего пара к наружной поверхности вертикальной трубы α_d определялся по известной зависимости [6]. Коэффициент теплоотдачи от стенки внутренней трубы к псевдооживленному ВМЭ зернистому слою α_x рассчитывался согласно методике,



разработанной доцентом Г.М. Михайловым на кафедре «Процессы и аппараты химических производств» Волгоградского политехнического института.

Общая высота аппарата:

$$H_A = 1,1 \cdot \frac{F}{\pi \cdot D_{BB}} \tag{4}$$

Основные результаты расчёта в графическом виде представлены на рисунках 4 и 5.

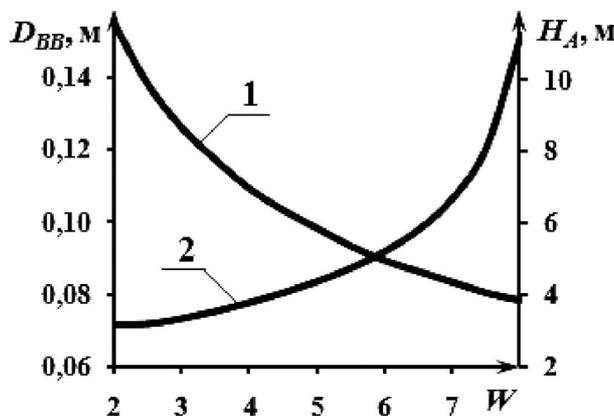


Рисунок 4 – Зависимость внутреннего диаметра внутренней трубы и её высоты от числа псевдооживления:
1 – $D_{BB} = f(W)$; 2 – $H_A = f(W)$

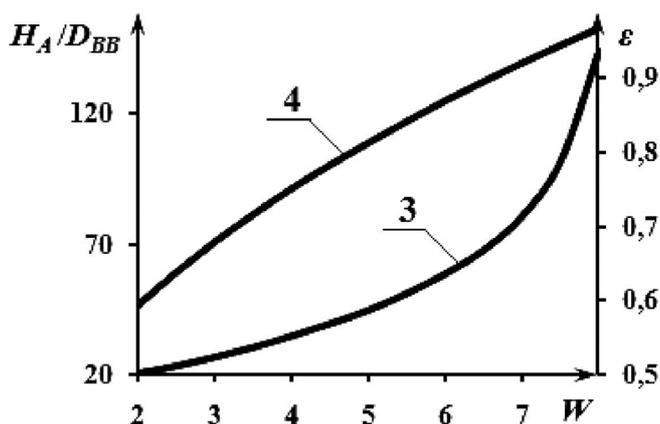


Рисунок 5 – Зависимость порозности псевдооживленного зернистого слоя и отношения внутреннего диаметра внутренней трубы к её высоте от числа псевдооживления:
3 – $H_A/D_{BB} = f(W)$; 4 – $\epsilon = f(W)$

Анализируя полученные графики, можно рекомендовать рабочие значения числа псевдооживления в диапазоне $W = 2,5 \div 4$, что соответствует величине порозности псевдооживленного зернистого слоя $\epsilon = 0,65 \div 0,75$, необходимой и достаточной для интенсификации процессов перемешивания и теплообмена [4].

Таким образом, с помощью разработанной инженерной методики расчёта эффективного комбинированного теплообменного аппарата можно определить его оптимальные габариты в зависимости от технологических условий.

Литература:

1. Зверева Э.А. Энергоресурсосберегающие технологии и аппараты ТЭС при работе на мазутах / Э.А. Зверева, Т.М. Фарахов; под ред. А.Г. Лаптева. – М. : Теплотехник, 2012. – 181 с.
2. Назмеев Ю.Г. Мазутные хозяйства ТЭЦ. – М. : МЭИ, 2002. – 612 с.
3. Пат. 2390693 РФ, 2008120853/06. Кавитационное устройство подогрева мазута и способ его работы / С.В. Ворожейкин, В.С. Бороздин; заявл. 27.05.2008. – Оpubл. 27.05.2010. – Бюл. № 15.
4. Рева Л.С. Методы гидродинамического и теплового расчёта теплообменников с зернистой насадкой : Дис. канд. техн. наук: 05.17.08. – Волгоград, 1984. – 310 с.
5. П.м. 167237 РФ, 2016111064/06. Пластинчатый теплообменник / Л.С. Рева, А.Б. Голованчиков, С.Л. Рева, П.С. Васильев, С.Б. Воротнева, А.В. Сухова; заявл. 24.03.2016. – Оpubл. 27.12.2016. – Бюл. № 36.



6. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учеб. пособие / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков; под ред. П.Г. Романкова. – Л. : Химия, 1987. – 10-е изд., перераб. и доп. – 576 с.

References:

1. Zvereva E.A. Energy-saving technologies and equipment of thermal power plants when working on fuel oil / E.A. Zvereva, T.M. Farakhov; by ed. A.G. Lapteva. – M. : Heat engineer, 2012. – 181 p.
2. Nazmееv Y.G. Mazutnye facilities of thermal power plants / Y.G. Nazmееv. – M. : MEI, 2002. – 612 p.
3. Pat. 2390693 RU, 2008120853/06 Cavitation device for heating fuel oil and the way it works / S.V. Vorozheikin, V.S. Borozdin; declare May 27, 2008. – Publ. 05/27/2010. – Bull. № 15.
4. Reva L.S. Methods of hydrodynamic and thermal calculation of heat exchangers with a granular packing : Dis. PhD. – Volgograd, 1984. – 310 p.
5. P.m. 167237 of the Russian Federation, 2016111064/06 Plate heat exchanger / L.S. Reva, A.B. Golovanchikov, S.L. Reva, P.S. Vasiliev, S.B. Vоротneva, A.V. Sukhova; claimed 03/24/2016. – Publ. 12.27.2016. – Bul. № 36.
6. Pavlov K.F. Examples and tasks for the course of processes and devices of chemical technology : studies manual / K.F. Pavlov, P.G. Romankov, A.A. Noskov; by ed. P.G. Romankov. – L. : Chemistry, 1987. – 10th ed., revised and add. – 576 p.