

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

Резервуарный водоподогреватель огневого типа

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 431 группы
направления 18.03.01 «Химическая технология»
Института химии

Самсонова Ильи Игоревича

Научный руководитель
д.техн.н., профессор

Ю.Я. Печенегов

Заведующий кафедрой
д.х.н., профессор

Р.И. Кузьмина

Саратов 2016

Введение. Выпускная квалификационная работа посвящена решению проблемы поиска и разработки новых, относительно дешевых и простых в эксплуатации, аппаратов для нагрева воды в разных отраслях промышленности с малой себестоимостью и повышенной надежностью.

Актуальность работы. В настоящее время нагревание является одним из наиболее распространенных процессов химической технологии. Большое внимание в промышленности уделяется процессам нагрева воды, которая находит применение в теплоснабжении населения и промышленных предприятий, в энергетических установках (как теплоноситель или для выработки пара), на установках подготовки и хранения воды [1, 2].

В теплоснабжении, как правило, подогрев воды осуществляется котельными в водогрейных котлах разной мощности. Спрос на такие котлы в России и странах СНГ в последние десятилетия непрерывно возрастает. Они находят применение в малой энергетике для обеспечения теплом жилых массивов городов, городских посёлков, в нефтегазодобывающей, горной и перерабатывающей промышленности, на морском и речном транспорте.

Также в промышленности широко развиты процессы электронагрева воды за счет преобразования электрической энергии в тепловую [3].

Однако себестоимость нагрева воды с помощью котельных или электронагревом достаточно велика за счет, например, отложений накипи на поверхностях нагрева и коррозии аппаратуры, которая возникает в результате химического или электрохимического взаимодействия.

Целью работы являлся расчет параметров водонагревателя автоматизированного резервуарного номинальной теплопроизводительностью 60 кВт и вместимостью резервуара 100 м³.

Для достижения поставленной цели поставлены следующие задачи:

- выполнить тепловой и аэродинамический расчеты;
- провести расчет процесса горения и определение расхода топлива;
- выбрать конструкцию основания и фундамента;
- дать технико-экономическое обоснование расчета расхода топлива;
- осуществить сравнительный анализ затрат на выработку тепловой энергии водонагревателем автоматизированным резервуарным, котельной установкой и элементным водонагревателем.

Бакалаврская работа Самсонова Ильи Игоревича «Резервуарный водоподогреватель огневого типа» представлена на 48 страницах и состоит из трех глав:

Глава 1 - Литературный обзор;

Глава 2 - Технологическая часть;

Глава 3 - Расчетная часть.

Основное содержание работы. В первой главе выпускной квалификационной работы осуществлен поиск литературных данных и анализ патентных разработок по способам нагрева воды, а также по конструкциям нагревательных установок.

Рассмотрены типы водогрейных и паровых котлов. По конструкции они могут быть водотрубными и жаротрубными. У последних одним из основных функциональных элементов является жаровая труба, представляющая собой неразъемную, составную цилиндрическую конструкцию, собранную из гофрированных стальных обечаек [4, 5].

Приведена краткая характеристика наружной поверхности жаровых труб в зависимости от ее геометрической формы (гладкие и гофрированные).

Указаны некоторые модели выпускаемых в настоящее время водогрейных котлов и их габаритные размеры.

Приводятся различные патентные разработки по конструкциям водогрейных котлов, краткое описание работы, а также их преимущества и недостатки [6-8].

Проанализированы схемы некоторых нагревателей, которые могут быть использованы для обеспечения заданного температурного режима резервуаров с водой, а также их характеристики.

Уделено внимание устройствам для электронагрева жидкостей - электродным и элементным водонагревателям. Приведены их положительные качества, а также указаны основные недостатки [9, 10].

Таким образом, в первой главе выпускной квалификационной работы рассмотрены различные способы нагрева воды в промышленности (с помощью водогрейных котлов и электронагревом). Описаны типы водогрейных и паровых котлов, а также устройства для электронагрева жидкостей.

Представлены их технические характеристики и изучены их достоинства и недостатки. Рассмотрены конструкции некоторых аппаратов для нагрева воды. Подтверждена актуальность разработки новых относительно дешевых и простых в эксплуатации аппаратов для нагрева воды в разных отраслях промышленности с меньшей себестоимостью и повышенной надежностью.

Во второй главе выпускной квалификационной работы указаны основные технические характеристики водонагревателя (рабочая среда, давление газа на входе, количество жаровых труб) и его назначение.

В третьей главе выполнены следующие расчеты:

- Расчет тепловой мощности;
- Расчет процесса горения и определение расхода топлива;
- Тепловой расчет;
- Аэродинамический расчет;
- Техничко-экономические расчеты.

Также произведен выбор типоразмеров нагревателя и конструкции основания и фундамента.

Расчет тепловой мощности. Определили тепловую мощность нагревателей для двух режимов работы резервуаров:

- отбор и одновременная подача холодной воды с одинаковыми расходами;
- отсутствие отбора и подачи воды.

Для режима без отбора и подачи воды в резервуар тепловая мощность Q , Вт, нагревателя будет соответствовать величине тепловых потерь через теплоизоляцию резервуара в окружающую среду $Q_{\text{п}}$, Вт:

$$Q = Q_{\text{п}} = \alpha_0 F_p (t_{\text{пов}} - t_0) = \frac{\lambda_{\text{из}}}{\delta_{\text{из}}} (t_{\text{ст.р}} - t_{\text{пов}}) F_p, \quad (1)$$

где α_0 - коэффициент теплоотдачи от кожуха резервуара окружающему воздуху, Вт/(м² · К);

$t_{\text{пов}}$ - температура кожуха, °С;

t_0 - температура окружающего воздуха, °С;

$t_{\text{ст.р}}$ - температура наружной поверхности стенки резервуара, °С;

$\lambda_{\text{из}}$ - коэффициент теплопроводности тепловой изоляции, Вт/(м · К);

$\delta_{\text{из}}$ - толщина тепловой изоляции, м.

F_p - площадь поверхности теплообмена, м².

Для режима работы при одновременных отборе и подаче воды в резервуар тепловая мощность нагревателя Q дополнительно к $Q_{\text{п}}$ увеличится на величину, необходимую для нагрева подаваемой воды $Q_{\text{н}}$:

$$Q_{\text{н}} = G_{\text{в}} c_{\text{в}} (t_{\text{в}}^{\text{к}} - t_{\text{в}}^{\text{н}}), \quad (2)$$

где $G_{\text{в}}$ - массовый расход воды, кг/ч;

$c_{\text{в}}$ - удельная массовая теплоемкость воды, Дж/(кг · К);

$t_{\text{в}}^{\text{к}}$ - конечная температура воды, °С;

$t_{\text{в}}^{\text{н}}$ - начальная температура воды, °С.

Расчет процесса горения и определение расхода топлива. Топливом для нагревателя служит природный газ с содержанием метана CH_4 - 97,6 об.%, этана C_2H_6 - 0,1 об.%, пропана C_3H_8 - 0,1 об.%, азота N_2 - 1,9 об.% и углекислого газа CO_2 - 0,3 об.%.

Расчет процесса горения природного газа дал следующие показатели:

- расход воздуха $V_{\text{в}} = 10,2 \text{ м}^3/\text{м}^3$ топлива;
- выход продуктов сгорания топлива $V_{\text{п.с}} = 11,18 \text{ м}^3/\text{м}^3$ топлива;
- объемная доля диоксида углерода в продуктах сгорания $r_{\text{CO}_2} = 9\%$;
- объемная доля водяных паров в продуктах сгорания $r_{\text{H}_2\text{O}} = 17,5\%$;
- объемная доля кислорода $r_{\text{O}_2} = 1,8\%$;
- теоретическая температура горения $t_{\text{T}} = 1900^\circ\text{C}$.

Расход топлива B , м³/с, находили по уравнению:

$$B = \frac{Q \cdot 10^{-3}}{h_{\text{T}} - h_{\text{yx}}}, \quad (3)$$

где h_{T} и h_{yx} - энтальпии продуктов сгорания, Дж/м³, при температурах

соответственно $t_T = 1900^\circ\text{C}$ и $t_{yx} = 200^\circ\text{C}$.

Тепловой расчет. Нагреватель включает в себя жаровую трубу, в которую поступают продукты сгорания от горелочного устройства, затем крутоизогнутый поворот и далее конвективную часть.

Для расчета теплообмена от продуктов сгорания к стенке нагреватель по длине условно разбили на четыре участка. Далее определили тепло, переданное от газов к стенке трубы на каждом участке, а также длину каждого участка. В результате теплового расчета определена суммарная длина теплопередающей части жаровой трубы (в контакте с водой), значение которой составило 6,1 м.

Аэродинамический расчет. В результате аэродинамического расчета рассчитано падение давления на каждом из четырех участков нагревателя, а также полное сопротивление дымного тракта при номинальном режиме работы установки. Определена необходимая высота дымовой трубы.

Технико-экономические расчеты. Целью технико-экономической оценки являлось подтверждение экономической целесообразности применения исследуемого проекта на практике. В данном случае произведен расчет величины затрат, необходимых для реализации этого проекта на практике, и выполнен сравнительный анализ с применяемым в настоящее время оборудованием.

В местах добычи нефти (в том числе в условиях Крайнего Севера) водоснабжение буровых установок на хозяйственно-питьевые цели работников, технологические нужды и пожаротушение обеспечивают паровые котельные установки и электрические элементные водонагреватели.

Затраты на абсолютные и удельные вложения капитала (общестроительные работы, стоимость оборудования, рабочих машин, механизмов с их монтажом) рассчитать достаточно сложно, поэтому для приблизительной оценки экономической целесообразности проекта произведен сравнительный анализ затрат на выработку необходимого количества тепловой энергии для нагрева воды предлагаемым резервуарным водоподогревателем огневого типа, паровой котельной установкой и электрическим элементным водонагревателем одинаковой мощностью 60 кВт.

Первый этап технико-экономических расчетов состоял в необходимости

обоснования расчета расхода топлива, второй этап - сравнительная характеристика затрат на выработку тепловой энергии.

Для обоснования расчета расхода топлива определили затраты на топливо при разной температуре дымовых газов в интервале $200 \div 700^\circ\text{C}$, а также капитальные затраты на жаровую трубу. В таблице представлены расходы топлива по формуле (3) в зависимости от разной температуры уходящих газов, а также годовые затраты по формуле:

$$\Sigma = B \cdot C_{\text{газ}}, \quad (4)$$

где Σ - годовые затраты на топливо, руб/год;

B - расход природного газа, тыс. $\text{м}^3/\text{год}$;

$C_{\text{газ}}$ - стоимость природного газа, 9 тыс. руб/1000 м^3 .

Таблица - Затраты на топливо (природный газ)

Температура уходящих газов, $^\circ\text{C}$	200	350	500	625	700
Количество часов работы, час/год	8200	8200	8200	8200	8200
Расход природного газа, B , тыс. $\text{м}^3/\text{год}$	53,3	57,4	63,2	68,9	75,4
Итого, Σ , руб/год	479 700	515 124	565 308	617 706	678 960

Установлено, что с увеличением температуры дымовых газов растет расход топлива, что ведет к увеличению затрат на топливо. При температуре дымовых газов 700°C годовые затраты на топливо составляют 678 960 руб/год, а при 200°C - 479 700 руб/год.

Затраты на жаровую трубу $C_{\text{ж.тр}}$ по формуле (5) составили 2700 рублей.

$$C_{\text{ж.тр}} = 2\pi r l \delta \rho C_{\text{стали}} + 2G, \quad (5)$$

где $2\pi r l$ - площадь поверхности жаровой трубы, м^2 ;

δ - толщина стенки жаровой трубы, м;

ρ - плотность стали 09Г2С, $7850 \text{ кг}/\text{м}^3$.

$C_{\text{стали}}$ - стоимость стали 09Г2С, 30500 руб/т;

G - стоимость изготовления трубы, руб.

Проанализировав затраты на жаровую трубу и топливо можно сделать вывод о том, что капитальные затраты на водонагреватель огневого типа складываются только из стоимости топлива, а затраты на жаровую трубы незначительны. Таким образом оптимальная температура уходящих газов составляет 200°C , при которой расход природного газа составляет 53,3 тыс. $\text{м}^3/\text{год}$. Максимальная экономия составляет 199 260 руб/год.

Для сравнительного анализа затрат на выработку тепловой энергии определили затраты (тыс. руб/год) на нагрев воды до заданной температуры 30°C с помощью паровой котельной и электрического элементного водонагревателя одинаковой мощностью $Q = 60$ кВт.

Для паровой котельной стоимость выработки перегретого пара $C_{\text{в.п.}}$ рассчитали по формуле:

$$C_{\text{в.п.}} = \frac{Q\tau C_{\text{пар}} \cdot 10^{-6}}{4.187}, \quad (6)$$

где τ - время работы, сек/год;

$C_{\text{пар}}$ - стоимость пара, 2000 руб/Гкал.

Для электрического элементного водонагревателя стоимость электрической энергии $C_{\text{эл.ток}}$ рассчитали по формуле:

$$C_{\text{эл.ток}} = Q \tau C_{\text{эл.}}, \quad (7)$$

где τ - время работы, ч/год;

$C_{\text{эл.}}$ - стоимость электроэнергии, 4,01 руб/(кВт · ч).

На рисунке 1 представлен сравнительный анализ рассчитанных годовых затрат на выработку тепловой энергии разными установками. Проанализировав рисунок нетрудно заметить, что водоподогреватель огневого типа требует меньше всего затрат на выработку тепловой энергии для обеспечения заданного техническими условиями режима работы.

Также в отличие от паровой котельной огневой водонагреватель не требует затрат на монтаж сложной замкнутой системы трубопроводов и до-

полнительного оборудования для выработки пара, что значительно снижает капитальные затраты.



Рис. 1. Годовые затраты на выработку тепловой энергии

Выбор конструкции основания и фундамента. В качестве фундамента резервуара может быть использована грунтовая подушка с железобетонным кольцом под стенкой и без него, либо железобетонная плита.

Диаметр подушки на 1,5-2,0 м больше диаметра днища резервуара. Откосы подушки отсыпают с уклоном 1:1,5 с последующим мощением. И горизонтальная часть подушки, и откосы должны быть защищены бетонной отмосткой толщиной 60-80 мм. Поверх насыпной подушки устраивается гидроизолирующий слой, предохраняющий металл днища от коррозии под действием грунтовых вод и конденсата.

Заключение. В результате работы выполнен конструкторский расчет резервуарного водоподогревателя огневого типа. Таким образом, по итогам выпускной квалификационной работы можно сделать следующие выводы:

1. Вычислена необходимая длина теплопередающей части трубы (в контакте с водой) нагревателя, значение которой составило 6.1 м;
2. Определен оптимальный расход топлива ($6.5 \text{ м}^3/\text{ч}$) для обеспечения нагрева воды от 2°C до 30°C .
3. Предложены конструкции основания и фундамента под резервуар, представляющие собой грунтовую подушку с железобетонным кольцом под стенкой.
4. Выполнены технико-экономические расчеты, по результатам которых доказана экономическая целесообразность применения исследуемого резервуарного водонагревателя огневого типа на практике.

Список использованных источников

1. Коренев А. И. Область применения гофрированных жаровых труб и проблемы их изготовления // В сб. научных трудов ОАО «Энергомашкорпорация», Белгород, 2003, с. 297-302.
2. Васильев А.В. Сравнительный анализ эффективности паровых и водогрейных котлов для промышленных и отопительных котельных / А.В. Васильев, Г.В.Антропов, А.А.Сизоненко // Промышленная энергетика. 2003. №9. С. 18-23.
3. Патент № 2269211, МПК H05B3/40, F24H3/04. Проточный нагреватель. Волчков В.В., Ершов М.Н., Струков А.И. Оpubл. 27.01.2006.
4. Лисейкин И.Д., Сидорова А.И., Лебедева Л.А. Новые водогрейные котлы для систем теплоснабжения // Теплоэнергетика, 2011, №12. С. 33-41.
5. Патент РФ 2196278, МПК F24H1/28, F22 B7/12. Жаротрубный котел. Каменских Г.Г., Тюкавкин А.Н. Оpubл. 10.01.2003.
6. Патент РФ 21443 U1, МПК: F24H1/00. Котел водогрейный. Григоров С.Н., Зуев Ю.Р., Мингалев Ю.В. Оpubл. 20.01.2002.
7. Патент № 2011146220, МПК C25F1/04. Способ предотвращения образования накипи и коррозии нагревательных труб водогрейных и паровых котлов. Глухарев Н.Ф., Левинсон В.Г. и др. Оpubл. 20.05.2013.
8. Патент РФ 2499187, МПК: F22B7/00. Водогрейный жаротрубный котел. Александров С.В. Оpubл. 20.11.2013
9. Патент № 2269211, МПК H05B3/40, F24H3/04. Проточный нагреватель. Волчков В.В., Ершов М.Н., Струков А.И. Оpubл. 27.01.2006.
10. Рудобашта С. П., Оболенский Н. В., Мокеев А. А. Подогреватели воды для сельскохозяйственных объектов. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2003, №9, С. 16-17.