

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА МОБИЛЬНОЙ ВОДОГРЕЙНОЙ УСТАНОВКИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ РЕЗЕРВУАРОВ

Астанова А.А., Печенкина М.Ю.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа

Ключевые слова: водогрейная установка, кожухотрубчатый теплообменник, оптимизация, теплопередача, энергоэффективность, очистка резервуаров, теплообменная поверхность.

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы повышения энергоэффективности мобильной водогрейной установки, предназначенной для очистки резервуаров от нефтепродуктов. Выявлены основные недостатки существующего оборудования: высокий расход топлива из-за избыточной мощности котла, материалоемкость и ограниченная эффективность теплообменного аппарата. Предложена концепция оптимизации, заключающаяся в увеличении площади поверхности теплообмена кожухотрубчатого аппарата с целью снижения номинальной мощности водогрейного котла без потери требуемой температуры нагрева воды. Представлена методика поверочного и проектного расчёта, позволяющая определить необходимые параметры. Ожидаемым результатом является сокращение расхода дизельного топлива и эксплуатационных затрат при сохранении технологических показателей.

IMPROVEMENT OF THE HEAT EXCHANGER OF A MOBILE HIGH- PRESSURE WATER-HEATING UNIT FOR TANK CLEANING

Astanova A.A., Pechenkina M.Yu.

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa

Keywords: water-heating unit, shell-and-tube heat exchanger, optimization, heat transfer, energy efficiency, tank cleaning, heat transfer surface.

Abstract. The paper considers issues of improving energy efficiency of a mobile water-heating unit intended for cleaning tanks from petroleum products. The main disadvantages of the existing equipment are identified: high fuel consumption due to excessive boiler capacity, material intensity and limited efficiency of the heat exchanger. An optimization concept is proposed, which consists in increasing the heat transfer surface area of the shell-and-tube apparatus to reduce the rated power of the water-heating boiler without losing the required water heating temperature. The method of verification and design calculation is presented, which allows determining the necessary parameters. The expected result is a reduction in diesel fuel consumption and operating costs while maintaining technological indicators.

Введение

Нефтяная промышленность сталкивается с проблемой накопления нефтяных остатков в резервуарах, что снижает качество продукта и полезный объём ёмкостей [1]. Для удаления шлама и очистки внутренних поверхностей применяются различные методы, среди которых наиболее экологичным и эффективным является использование водогрейных установок высокого давления. Принцип их работы основан на подаче горячей воды под давлением, которая размывает и эмульгирует нефтепродукты, после чего они удаляются. Такие установки мобильны, не требуют применения агрессивных химических реагентов и позволяют быстро очищать резервуары различного назначения.

Однако существующие конструкции водогрейных установок, размещаемые в стандартных морских контейнерах, часто обладают избыточной энергоёмкостью.

Основные затраты приходятся на водогрейный котёл, работающий на дизельном топливе. Кроме того, применяемые кожухотрубчатые теплообменники имеют ограниченную эффективность теплопередачи, высокие гидравлическое сопротивление и материалоемкость. В связи с этим актуальной задачей является оптимизация установки с целью снижения энергопотребления и эксплуатационных расходов без ухудшения технологических параметров.

Анализ существующей установки и выявленные недостатки

Рассматриваемая водогрейная установка размещена в двадцатифутовом морском сухогрузном контейнере [2]. В её состав входят водогрейный котёл мощностью 1300 кВт, кожухотрубчатый теплообменник с 12 трубками и 12 ходами, насосы, расширительный бак, горелка и система автоматики. Вода, поступающая из внешнего источника, нагревается в теплообменнике до 90-95°C за счёт антифриза, циркулирующего по замкнутому контуру от котла.

Анализ эксплуатационных недостатков показал, что основные проблемы связаны с качеством топлива и обслуживанием котла: загрязнение форсунок, нагар на теплообменных поверхностях, нестабильная работа горелки, что ведёт к снижению КПД и перерасходу топлива. Кроме того, кожухотрубчатые теплообменники, несмотря на свою надёжность, обладают рядом конструктивных недостатков: низкая эффективность теплообмена на единицу массы, высокая материалоемкость, сложность очистки межтрубного пространства, значительное гидравлическое сопротивление, трудность компенсации тепловых расширений [3]. Всё это приводит к тому, что для достижения требуемой температуры воды требуется котёл большой мощности, что увеличивает эксплуатационные затраты.

Концепция оптимизации

Для повышения энергоэффективности установки предлагается изменить тепловую схему за счёт увеличения площади теплообменной поверхности кожухотрубчатого аппарата. При сохранении расхода воды и заданных температур на входе и выходе, увеличение поверхности теплообмена позволяет снизить необходимую тепловую нагрузку со стороны греющего теплоносителя. Это, в свою очередь, даёт возможность использовать водогрейный котёл меньшей мощности (например, снизить её на 20-30%), что ведёт к уменьшению расхода топлива.

Технически увеличение площади достигается за счёт увеличения длины теплообменных трубок (при сохранении диаметра и числа ходов) либо применения труб с развитой поверхностью (оребрение, турбулизаторы). Эффективность применения турбулизирующих элементов и изменения геометрии поверхности теплообмена для повышения теплопередачи кожухотрубчатых аппаратов подтверждена современными исследованиями [4]. При этом необходимо учитывать ограничения по размещению оборудования внутри стандартного контейнера. Перекомпоновка узлов позволит разместить удлинённый теплообменник, не выходя за габариты контейнера.

Методика расчётного обоснования

Для подтверждения возможности снижения мощности котла при увеличенной поверхности теплообмена необходимо выполнить поверочный тепловой расчёт. Исходные данные принимаются на основе параметров

существующей установки: расход нагреваемой воды, её начальная и конечная температура, параметры греющего теплоносителя (антифриз), рабочее давление в трубном и межтрубном пространствах.

Последовательность расчёта включает определение тепловой нагрузки аппарата по нагреваемой воде на основе её массового расхода, удельной теплоёмкости и разности температур на входе и выходе; расчёт среднелогарифмического температурного напора при противоточной схеме движения теплоносителей; гидродинамический расчёт для определения режимов течения (ламинарный или турбулентный) в трубном и межтрубном пространствах по критерию Рейнольдса; вычисление коэффициентов теплоотдачи со стороны воды и антифриза с использованием критериальных уравнений (Нуссельта, Прандтля); определение общего коэффициента теплопередачи с учётом термического сопротивления стенки труб и возможных загрязнений; а также расчёт требуемой площади поверхности теплообмена на основе тепловой нагрузки, коэффициента теплопередачи и среднего температурного напора [5, 6].

Сравнение полученной площади с исходной показывает, насколько необходимо увеличить геометрические размеры аппарата. Далее выполняется проверка гидравлического сопротивления и возможности компоновки в контейнере. Если при увеличенной площади теплообмена удастся обеспечить заданный нагрев воды при сниженной тепловой мощности котла, то это служит обоснованием оптимизации.

Ожидаемые результаты и технико-экономическая эффективность

Предполагается, что за счёт увеличения площади теплообмена на 30-40% можно снизить номинальную мощность котла примерно на 20%. Это приведёт к:

- уменьшению расхода дизельного топлива до 20%;
- снижению эксплуатационных затрат на топливо и обслуживание;
- повышению ресурса котла из-за работы в более щадящем режиме.

Дополнительным преимуществом станет возможность использования теплообменника с увеличенной длиной труб без усложнения конструкции (например, с неподвижными трубными решетками и линзовым компенсатором, если температурные деформации значительны). При необходимости может быть применено оребрение труб со стороны межтрубного пространства для дополнительной интенсификации теплообмена.

Заключение

В результате выполнения работы предложена концепция оптимизации мобильной водогрейной установки, базирующаяся на усовершенствовании теплообменного аппарата. Основное техническое решение – увеличение поверхности теплообмена кожухотрубчатого аппарата, что позволяет снизить мощность водогрейного котла без ухудшения технологических параметров нагрева воды. Представленная методика теплового расчёта даёт возможность количественно обосновать необходимые изменения. Реализация предложенных мероприятий позволит повысить энергоэффективность установки, сократить расход топлива и эксплуатационные затраты, что особенно важно для предприятий нефтегазового комплекса.

Список литературы

1. Джафаров Д. Современные методы очистки резервуаров от донных отложений // Мировая наука. – 2022. – №11 (68). – С. 1-4.
2. Морские контейнеры сухогрузные 20 футов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ric-box.ru/shipping-containers-20-foot/>.
3. Дмитриев Е.А., Моргунова Е.П., Комляшев Р.Б. Теплообменные аппараты химических производств. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2013. – 88 с.
4. Никулин Н.Ю., Кущев Л.А., Феоктистов А.Ю. Повышение теплотехнических характеристик кожухотрубных теплообменников: монография. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2022. – 148 с.
5. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1971. – 784 с.
6. Банных О.П. Основные конструкции и тепловой расчет теплообменников: учебное пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 42 с.

Сведения об авторf[:

Астанова Адэлина Аскаровна – студент;

Печенкина Марина Юрьевна – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Технология металлов в нефтегазовом машиностроении».