

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

(наименование)

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Цифровые процессы и системы автоматизированного машиностроения

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Разработка автоматической установки по очистке промышленных теплообменников

Обучающийся

Е.М. Федотова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный руководитель

к.т.н., доцент Д.Г. Левашкин

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Оглавление

Введение.....	4
Глава 1 Анализ и состояние вопроса.....	5
1.1 Что такое теплообменник и как образуется накипь.....	5
1.2 Методы очистки, их плюсы и минусы.....	13
1.3 Задачи диссертации.....	36
Глава 2 Разработка конструкции автоматической установки.....	37
2.1 Форма и закрепление установки.....	37
2.2 Подбор деталей.....	38
2.3 Конечная модель конструкции установки.....	44
Глава 3 Расчет кожухотрубчатого теплообменника.....	54
3.1 Исходные данные.....	54
3.2 Тепловой расчет подогревателя.....	57
3.3 Гидравлический расчет кожухотрубчатого теплообменника...70	
Глава 4 Статический анализ автоматической установки.....	73
4.1 Расчет силовых факторов.....	73
4.2 Расчет эквивалентных силовых смещений.....	76
Глава 5 Программирование вычислений силовых характеристик автоматической установки.....	78
5.1 Разработка программы на языке Python.....	78
5.2 Результаты расчетов.....	80
Глава 6 Выбор датчиков контроля и силовой головки.....	81
6.1 Метод измерения.....	81
6.2 Датчик расхода.....	82
6.3 Датчик измерения температуры.....	84

6.4 Схема подключения датчиков.....	87
6.5 Силовая головка.....	88
6.6 Выбор серводвигателя.....	89
Заключение.....	92
Список используемых источников.....	93
Приложение А. Сертификат о публикации статьи.....	100

Введение

Прогресс и развитие – неизменная часть жизни человека. Как и много веков тому назад, так и по сей день человечество создает изобретения, предназначенные для облегчения и улучшения собственной повседневной жизни, повышения производительности труда и качества. Многие процессы, которые раньше человеку приходилось выполнять вручную, теперь осуществляются при помощи автоматизации.

Однако с внедрением новых технологий возникают и новые задачи: за длительный период использования образуется накипь, ржавчина и тому подобные загрязнители, что приводит к снижению производительности и дальнейшим поломкам. Для предотвращения этого неблагоприятного исхода необходимо проводить чистку оборудования.

Самих способов очистки существует несколько. У каждого есть плюсы и недостатки. Выбор определенного типа стоит делать исходя из самого оборудования, его параметров и степени загрязнения. В данной научно-квалификационной работе будут рассмотрены именно промышленные теплообменники. Это актуально, поскольку не все существующие способы эффективны и доступны, во многих все еще требуется ручное вмешательство человека, а точнее – разборка агрегата и оборудования на части для полного очищения. Разбирать и собирать из раза в раз агрегат и оборудование – довольно затратно и не всегда возможно, поскольку теплообменники могут быть расположены в труднодоступных местах, также это сказывается на производительности труда.

Таким образом, целью научно-квалификационной работы является разработка автоматической установки по очистке промышленных теплообменников.

Научная новизна заключается в том, что установка будет автоматической, не требующей вмешательства человека.

Глава 1 Состояние вопроса

1.1 Что такое теплообменник и как образуется накипь

«Теплообменник является техническим устройством, предназначение которого заключается в осуществлении теплообмена между двумя средами, имеющими различные температуры»[15].

«По принципу действия теплообменники подразделяются на рекуператоры и регенераторы. В рекуператорах движущиеся теплоносители разделены стенкой. К этому типу относится большинство теплообменников различных конструкций. В регенеративных теплообменниках горячий и холодный теплоносители контактируют с одной и той же поверхностью поочередно. «Тепло накапливается в стенке при контакте с горячим теплоносителем и отдается при контакте с холодным, как, например, в кауперах доменных печей»[15].

«Теплообменники применяются в технологических процессах нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, атомной, холодильной, газовой и других отраслях промышленности, в энергетике и коммунальном хозяйстве»[15].

«От условий применения зависит конструкция теплообменника. Существуют аппараты, в которых одновременно с теплообменом протекают и смежные процессы, такие как фазовые превращения, например, конденсация, испарение, смещение. Такие аппараты имеют свои наименования: конденсаторы, испарители, градирни, конденсаторы смешения»[15].

«В зависимости от направления движения теплоносителей рекуперативные теплообменники могут быть прямоточными при параллельном движении в одном направлении, противоточными при параллельном встречном движении, а также при взаимно поперечном движении двух взаимодействующих сред»[15].

Наиболее распространенные в промышленности рекуперативные теплообменники:

- «кожухотрубчатые (кожухотрубные) теплообменники,
- элементные (секционные) теплообменники,
- двухтрубные теплообменники вида «труба в трубе»,
- витые теплообменники,
- погружные теплообменники,
- оросительные теплообменники,
- ребристые теплообменники,
- спиральные теплообменники,
- пластинчатые теплообменники,
- пластинчато-ребристые теплообменники,
- графитовые теплообменники,
- миниканальные теплообменники,
- геликоидные теплообменники»[15].

«Кожухотрубные теплообменники устроены таким образом, что к корпусу, кожуху по торцам приварены трубные решетки, в которых закреплены пучки труб. В основном трубы в решетках крепятся с уплотнением развальцовкой или каким-то другим способом в зависимости от материала труб и давления в аппарате. Трубные решетки закрываются крышками на прокладках и болтах или шпильках. На корпусе имеются патрубki (штуцера), через которые один теплоноситель проходит через межтрубное пространство. Второй теплоноситель через патрубki (штуцера) на крышках проходит по трубам. В многоходовом теплообменнике в корпусе и крышках установлены перегородки для повышения скорости теплоносителей. Для увеличения теплоотдачи применяют оребрение теплообменных труб, которое выполняется или накаткой, или навивкой ленты. В случае необходимости, конструкция аппарата должна предусматривать его очистку»[15].

«Каждый элемент элементных теплообменников представляет собой простейший кожухотрубный теплообменник без перегородок. Такие аппараты допускают при этом более высокое давление. Однако такая конструкция получается более громоздкой и тяжёлой, чем кожухотрубный аппарат»[15].

«В погружном змеевиковом теплообменнике один теплоноситель движется по змеевику, погруженному в бак с другим жидким теплоносителем. Скорость жидкости в межтрубном пространстве незначительна и, следовательно, теплоотдача от жидкости сравнительно невелика. Такие теплообменники находят применение благодаря своей простоте и дешевизне в небольших установках»[15].

«Теплообменники типа труба в трубе устроены таким образом, что отдельные элементы соединены между собой патрубками и калачами, образуя цельный аппарат необходимого размера. Эти теплообменники находят себе применение при небольших расходах теплоносителей и при высоких давлениях»[15].

«Тип оросительных теплообменников применяется главным образом в качестве конденсаторов в холодильных установках. Оросительный теплообменник представляет собой змеевик из горизонтальных труб, размещённых в вертикальной плоскости в виде ряда параллельных секций. Над каждым рядом находится жёлоб, из которого струйками стекает охлаждающая вода на теплообменные тубы, омывая их наружную поверхность. При этом часть охлаждающей воды испаряется. Оставшаяся вода возвращается насосом, а потери компенсируются из водопровода. Эти теплообменники устанавливаются на открытом воздухе и ограждаются деревянными решетками, чтобы уменьшить унос воды»[15].

«Графитовые теплообменники для химически агрессивных сред изготавливают из блоков графита, который пропитывают специальными смолами для устранения пористости. Графит отличается хорошей теплопроводностью. В блоках просверливают каналы для теплоносителей.

Блоки уплотняются между собой прокладками из резины или тефлона и стягиваются крышками со стяжками»[15].

«Пластинчатые теплообменники состоят из набора пластин, в которых отштампованы волнистые поверхности и каналы для протока жидкости. Пластины уплотняются между собой резиновыми прокладками и стяжками. Такой теплообменник прост в изготовлении, легко модифицируется (добавляются или убираются пластины), его легко чистить, у него высокий коэффициент теплопередачи, но его нельзя применять при высоких давлениях»[15].

«Пластинчато-ребристый теплообменник в отличие от пластинчатого теплообменника состоит из системы разделительных пластин, между которыми находятся ребристые поверхности — насадки, присоединенные к пластинам методом пайки в вакууме. С боков каналы ограничиваются брусками, поддерживающими пластины и образующие закрытые каналы. Таким образом, в основу ребренного пластинчатого теплообменника положена жесткая и прочная цельнопаянная теплообменная матрица, построенная по сотовому принципу и работоспособная (даже в исполнении из алюминиевых сплавов) до давления 100 атм. и выше. В пластинчато-ребристых теплообменниках существует большое количество насадок, что позволяет подбирать геометрию каналов со стороны каждого из потоков, реализовывая оптимальную конструкцию. Основные достоинства данного типа теплообменников — компактность (до 4000 м²/м³) и легкость. Последнее обеспечивается за счет применения при изготовлении теплообменной матрицы пакета из тонколистовых деталей из легких алюминиевых сплавов»[15].

«Теплообменники спиральные представляют собой два спиральных канала, навитых из рулонного материала вокруг центральной разделительной перегородки — керна, среды движутся по каналам. Одно из назначений спиральных теплообменников — нагревание и охлаждение высоковязких жидкостей»[15].

«При выборе между пластинчатыми и кожухотрубными теплообменниками предпочтительными являются пластинчатые, коэффициент теплопередачи которых более чем в три раза больше, чем у традиционных кожухотрубных. При этом для решения одной и той же задачи по нагреву среды кожухотрубный теплообменник будет занимать площадь в 3-4 раза больше чем сравнимый по эффективности пластинчатый теплообменник или в 6-10 раз больше чем сравнимый по эффективности геликоидный теплообменник»[15].

«В то же время иностранные пластинчатые теплообменники, оснащённые средствами автоматики, регулирования и надёжной арматурой, позволяют снизить количество теплоносителя, идущего на нагрев воды. А значит, и диаметры трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры, снизить нагрузки на сетевые насосы и, соответственно, уменьшить потребление электроэнергии. В последнее время стали появляться современные отечественные геликоидные теплообменники, оснащенные трубками, профилированными таким образом, чтобы рост гидравлического сопротивления превышал рост теплоотдачи вследствие применения турбулизаторов потока. Это достигается накаткой на внешней поверхности трубы кольцевых или винтообразных канавок, вследствие образования которых на внутренней поверхности трубы образуются плавно очерченные выступы небольшой высоты, интенсифицирующие теплоотдачу в трубах. Данная технология, в дополнение к таким важным показателям как высокая надёжность (также при гидравлическом ударе) и меньшая стоимость, даёт отечественному теплообменному оборудованию дополнительные преимущества по сравнению с иностранными пластинчатыми аналогами»[15].

«Серьёзной проблемой является коррозия теплообменников. Для защиты от коррозии применяется газотермическое напыление трубных досок, труб пароперегревателей. Это относится не только к кожухотрубным теплообменникам, изготовленным из углеродистой стали. Геликоидные теплообменники и пластины пластинчатых теплообменников в подавляющем

большинстве изготавливаются из коррозионно-стойкой жаропрочной стали, но несмотря на это, также подвержены питтинговой коррозии при использовании неингибированных теплоносителей»[15].

Во введении была упомянута необходимость проведения очистки теплообменников. Рассмотрим подробнее, почему же это так важно.

Суть в том, что в процессе нагрева в теплообменнике образуется накипь и прочие разнообразные отложения и грязь. «Например, минеральные отложения, которые оседают на внутренних поверхностях теплообменников. К ней относят металлические отложения, соли металлов (в первую очередь карбонаты и гидрокарбонаты кальция и магния), оксиды железа, которые образуются вследствие окисления стенок оборудования»[15]. Существуют также органические отложения, куда входят соли, образованные от карбоновых кислот, и некоторые другие соединения. Подобные отложения встречаются реже минеральных, но их содержание возрастает, если в качестве теплоносителя используют не воду, а какую-то органическую среду, например, смесь гликолей. Также есть биологические отложения, являющиеся наиболее редкими и состоящие из высокомолекулярных соединений вроде жиров, масел и иных подобных веществ. «Значительная часть любых отложений оседает на стенках теплообменника, формирует там со временем плотное наслоение, проникающее в структуру самой стенки»[15].

«Накипь представляет собой твердые отложения солей жесткости, оседающие на металлических стенках теплообменников и труб, по которым циркулирует вода. Заращение накипными отложениями стенок теплообменника и труб приводит к уменьшению диаметра внутреннего прохода и как следствие – уменьшению напора воды, падению давления в системе, повышенной нагрузке на насос, а также перегреву и разрушению стенок теплообменника»[15].

«Чтобы не выйти из строя агрегату нужно равномерно нагреваться и так же равномерно охлаждаться. С накипью это становится невозможным, т.к.

она обладает очень низкой теплопроводностью. Металл, нагревающийся с внешней стороны (например, газом), из-за слоя накипи не может отдать тепло теплоносителю. В результате возникают локальные места перегрева металла, который при росте температуры, может потечь, образовав свищ. На промышленных теплообменниках это приводит к возникновению аварийных ситуаций»[15].

«На бытовых теплообменниках слой накипи в первую очередь ведет к перерасходу тепловой энергии (газ либо электричество), идущей на нагрев теплоносителя. Из курса теплофизики известно, что слой накипи в 5 мм приводит к перерасходу тепловой энергии до 30%. Также накипь приводит к ускоренному износу либо полному выходу из строя деталей»[15].

«Итак, если накипь своевременно не удалять и не использовать современные способы предотвращения отложений накипи, то агрегат постепенно будет зарастать. Сначала образуется тонкий, легкоудаляемый налет, затем он наслаивается, и с течением времени, появляется толстый известковый камень, удалить который за один раз практически невозможно даже при помощи сильнодействующих антинакипных средств. Помимо этого увеличивается расход топлива, ибо металл в узлах системы отопления используется не только из-за своей жесткости, но еще и благодаря свойствам теплопроводности, а поскольку у накипи такой теплопроводности нет, и котлу приходится тратить больше времени и топлива на нагрев. Всего 1 мм отложений на теплообменнике, и счета за газ увеличатся на 10%. Также повышается нагрузка на систему отопления, ибо при появлении образований на поверхности узлов значительно сужаются каналы, что ухудшает процесс циркуляции воды, в итоге увеличивается загруженность циркуляционной насосной системы, из-за чего она тоже может поломаться. Но кроме этого пренебрежение очисткой теплообменника может привести к перегреву элемента теплообмена, поскольку в отопительных котлах реализована система охлаждения водой, которая поступает из обратной линии, а вот когда на теплообменнике образовывается накипь, система запутывается,

используя больше сил для нагрева. И эта проблема чревата не только увеличенным расходом газа, но и перегревом элемента, что может даже вывести его из строя»[15].

Из вышеперечисленного можно сделать вывод, что очищение теплообменника должно быть регулярным.

Как же часто нужно проводить очистку теплообменника? Ниже приведены признаки необходимости проведения очистки:

- повышенное потребление газа, ибо появление накипи, как выяснили уже выше, плохо влияет на теплопроводность, а значит, теплообменнику потребуется больше топлива;

- снижающаяся примерно на 10-20% производительность оборудования, что приводит к значительному охлаждению воды и повышению расхода топлива;

- появление повышенного шума в процессе работы, появление совершенно иных звуков.

Не менее важна и сфера применения теплообменника. Например, в ряде технологических процессов пищевой промышленности теплообменники подлежат ежедневной очистке, а в коммунальной энергетике теплообменники необходимо чистить в среднем раз в год.

Также важно учитывать и уровень водоподготовки, ведь чем больше в воде различных примесей, тем чаще приходится осуществлять очистку теплообменника.

Таким образом, было выяснено, что такое теплообменник, а также в чем заключается важность его очистки, какие последствия ждут при пренебрежении очищения. Встает новый вопрос: каким же образом провести очистку теплообменника? Ответы рассмотрим дальше.

1.2 Методы очистки, их плюсы и минусы

В нынешнее время существует несколько методов очистки теплообменника, а именно: химический, механический, гидродинамический и комбинированный.

«Механический способ применяется в большинстве своем в больших промышленных предприятиях. Является достаточно затратным в экономическом/финансовом плане. Вышеназванный метод делится на следующие этапы:

- ручной, реализовывающийся при полной разборке теплообменника с применением в качестве инструмента слесарных инструментов, а сама накипь и прочие отложения удаляются при помощи абразивной щетки или скребка;

- гидродинамический, осуществляющийся посредством направляемой на накипь струи с высоким давлением, для чего используются аппараты высокого давления и технологические насадки;

- очистка, предназначенная для кожухотрубчатого теплообменника, заключается в полной или частичной разборке оборудования, а сам процесс реализуется при помощи пескоструйного оборудования, полого стержня в виде сверла (для удаления отложений на трубах), радиальной щетки или фрезы: вращательно-поступательным движением удаляется накипь и тому подобные отложения, при этом предварительно осуществляется подача специальной жидкости в место очистки;

- кавитационный, заключающийся в подаче под небольшим давлением жидкости или мелких парогазовых пузырьков в места накипи и прочих отложений, а также в использовании локального направления, что создает ударные микроволновые действия, за чей счет отложения удаляются.

Вышеназванный метод менее опасный для людей, также он не вредит окружающей среде.

Однако данный метод имеет и минусы, а именно: разборка и сборка теплообменника, что может спровоцировать повреждения пластин и уплотнений, что в свою очередь может повлечь за собой замену деталей. Помимо этого вышеуказанный метод требует правильного подбора инструментов для очистки. Гидродинамический же метод имеет трудности в связи с подбором показателя давления: если слишком низкое – процесс не будет эффективным, если же наоборот, слишком высокое – велик риск прорыва трубы.

При химическом, самом распространенном методе, разборка теплообменника не требуется. Сам процесс осуществляется посредством химического реагента, который позволяет избавиться от образований в виде ржавчины, накипи и прочей грязи. Он имеет следующую последовательность:

- отсоединение теплообменника от питания;
- присоединение установки для промывания с предусмотрительным добавлением химического реагента;
- запуск оборудования и промывка, осуществляющаяся в течение 2-8 часов;
- промывка системы проточной водой, проверка на герметичность, тестирование оборудования и запуск работы.

Чистящие средства теплообменников различаются соотношением долей активного вещества и растворителя:

- «порошок, сухая смесь действующих веществ, которые дешевле других средств, но необходимо развести смесь с водой в определенной пропорции;
- концентрат, являющийся крепким раствором, чья концентрация активных веществ составляет не менее 50%, а вторая половина состоит из растворителя, обычно – воды;

- раствор, являющийся готовым составом для промывки теплообменника с уже выведенной концентрацией действующего реагента, не требующего дополнительной подготовки его для работы»[54].

«Существуют также и бытовые готовые растворы для промывки. Чаще всего они представляют собой концентраты, реже – сухие смеси. Базовые вещества выпускают и продают в собственных типовых концентрациях. Для промывания теплообменников из них нужно приготовить раствор необходимой насыщенности»[54].

Для любых профессиональных составов, как сухих смесей, так и жидкостей, которые используются для промывки теплообменников, характерен следующий состав:

- «основное вещество, являющееся главным компонентом, выполняющим непосредственно очищение внутренней поверхности оборудования от отложений, для чего используют органические и минеральные кислоты (соляную, фосфорную, лимонную, уксусную и другие), щелочи, различные окислители;

- растворитель, позволяющий увеличить объем без резкого повышения стоимости готового препарата, что нужно для обильного промывания теплообменника. В качестве растворителя используют воду, поскольку она химически нейтральна;

- дополнительные средства, к которым относятся ингибиторы кислотной коррозии, которые обеспечивают долгосрочную защиту теплообменника от образования новых отложений. Такой эффект имеют слабые органические окислители – карбоновые кислоты с низкой химической активностью, другие оксосоединения, к примеру, эфиры»[54].

«В состав средств для промывания теплообменников часто входят реагенты, компенсирующие действие самих очищающих реагентов. Другие добавки – катализаторы разрушения грязи, пеногасители, снижающие образование пены при размывании загрязнений, вещества против наслоения грязи»[54].

Вышеназванный метод считается одним из самых удобных, также затрачивает минимум ресурсов, поскольку сам процесс имеет нехитрую последовательную схему: подключение оборудования, добавление химических реагентов и запуск процесса.

Но помимо плюсов химический метод имеет значительные минусы: потребность в специализированной утилизации химического состава в специальное место; сложность удаления накипи и прочих отложений, накопившихся за длительный срок, не прибегая к разборке всего теплообменника; проблема подбора предназначенных именно для данного теплообменника химических средств; риск возникновения в будущем ржавчины, появление которой может спровоцировать частое применение химических реагентов; вероятность загрязнения окружающей среды и вред человеческому организму в случае попадания химических реагентов на кожу или слизистые оболочки.

Комбинированный метод очистки является самым трудоемким. Осуществляется он следующим образом:

- разборка теплообменника на составные части;
- замачивание деталей в ваннах со специальным химическим реагентом;
- удаление отложений и прочей грязи посредством струи воды под высоким давлением;
- сборка оборудования в обратном порядке, проверка герметичности и запуск системы в работу.

Вышеназванный метод считается наиболее эффективным, поскольку очистка проходит быстро и качественно.

Минусы же указанного метода имеют следующие: временные затраты и разборка теплообменника, а также вероятность непредвиденных затрат на замену запасных частей в связи с износом.

Исходя из вышперечисленных достоинств и недостатков различных методов очистки теплообменников, стоит сделать соответствующие выводы, чтобы выбрать более подходящий метод.

Рассмотрим конкретные конструкции методов очистки теплообменников, чтобы понять, от чего можно отталкиваться для разработки собственных конструкций.

Ocean Team помогает клиентам экономить время и деньги, используя химическую очистку пластинчатых теплообменников вместо обычных механических методов очистки.

В Asnaesvaerket компания DONG Energy A/S столкнулась с проблемой низкой эффективности двух своих пластинчатых теплообменников Альфа Лаваль. Этот процесс обычно занимает 2-3 дня для каждого теплообменника – процесс, который повторяется каждые два месяца для всех теплообменников в Asnaesvaerket. Температура технологической воды из двух теплообменников составляла 30 °С. Нормальная температура предпочтительно должна быть в пределах 25 - 28 °С, а также не должна превышать 28 °С.

Это означало, что DONG Energy столкнулась с проблемой, которую необходимо решить как можно скорее, чтобы восстановить нормальное производство. Мидии заблокировали систему.

Пластинчатые теплообменники Asnaesvaerket используют морскую воду для охлаждения технологической воды, используемой для производства. Непосредственно сам теплообменник можно увидеть на рисунке 1.



Рисунок 1 - Пластинчатый теплообменник в Asnaesvaerket

Было установлено, что низкая эффективность теплообменников вызвана широким распространением мидий, улиток и других видов морских обрастаний, которые были занесены в систему с морской водой и постепенно забивали теплообменники со стороны морской воды.

Обычная процедура, используемая Asnaesvaerket - очистка под высоким давлением. Продолжительность - 2-3 рабочих дня.

До сих пор обычной процедурой, используемой Asnaesvaerket для очистки забитых теплообменников морской воды, была очистка под высоким давлением.

Ручная очистка теплообменников высоким давлением включает следующие процедуры:

- демонтаж теплообменников,
- разборка,
- очистка под высоким давлением,
- сборка и герметизация,
- монтаж в технологическую систему,
- уборка и уборка рабочего места.

Этот процесс обычно занимает 2-3 дня для каждого теплообменника процесс, который повторяется каждые два месяца для всех теплообменников в Asnaesvaerket.

Тем не менее, разборка теплообменников несколько раз вызывала проблемы у Asnaesvaerket, поскольку у них возникали проблемы с повторной герметизацией теплообменников после очистки. Это привело к дополнительным затратам на новые прокладки и другие виды ремонта.

Решение Ocean Team - химическая очистка, ее продолжительность - один рабочий день. Ocean Team смогла предложить Asnaesvaerket значительно лучшее и более быстрое решение. С помощью химии удалось провести очистку за один рабочий день только для каждого теплообменника. Результатом стало падение температуры технической воды с высокого уровня до нормального уровня в 25 °С.

Более быстрая очистка означала, что Asnaesvaerket могла вернуться к нормальному производству значительно раньше и, следовательно, свести к минимуму производственные потери. Помимо более короткой продолжительности, химическая очистка также дает преимущество, заключающееся в том, что теплообменники не должны демонтироваться и разбираются в процессе очистки, как это требуется при использовании

механических методов очистки. Теплообменники останавливаются по очереди и чистятся на месте. Таким образом, вы избегаете дополнительных затрат из-за проблем с герметичностью, очисткой и износом рабочей зоны, а также других непредвиденных затрат на ремонт.

Очистка под высоким давлением осуществляется персоналом Asnaesvaerket следующим образом:

- продолжительность очистки: 2-3 рабочих дня на каждый теплообменник;
- теплообменники необходимо демонтировать и разобрать;
- после разборки может быть теплообменники снова герметичны после очистки, что приводит к дополнительным затратам на новые прокладки и другие виды ремонта;
- механическая очистка требует много места.

Очистка охладителей для мидий и улиток под высоким давлением приводит к беспорядку, а на уборку и уборку рабочего места уходит время – такая уборка изнашивает и помещение.

Химическая очистка от Ocean Team:

- продолжительность очистки составляет один рабочий день для каждого теплообменника;
- эффективная очистка – в результате химической очистки температура технологической воды упала до нормальных 25 °С;
- теплообменники не нужно разбирать или демонтировать, поскольку они останавливаются по очереди и химически очищаются на месте, что экономит время и деньги по сравнению с механическими методами очистки;
- отсутствие проблем с протечками после очистки и следовательно, никаких дополнительных затрат на новые прокладки и другие связанные с этим ремонты;
- отсутствие беспорядка в рабочей зоне и, следовательно, дополнительных затрат времени и средств на уборку и уборку рабочей зоны, которая также не подвержена износу.

Экономия 2-4 рабочих дня, что происходит благодаря более быстрой очистке. Эффективная очистка также характеризуется снижением температуры технологической воды до 25 °С.

Также происходит минимизация производственных потерь, т.е. первый теплообменник снова заработал на полную мощность всего через день.

Также не требуется никаких дополнительных затрат на устранение дефектов, очистку и износ рабочей зоны.

Автономная механическая очистка особенно полезна, когда существуют проблемы с загрязнением, которые слишком серьезны, чтобы их можно было решить любым из других методов. Очевидно, что выбранный инструмент должен быть наиболее подходящим для удаления определенного типа отложений. Формованные пластиковые очистители (скребки) довольно популярны для некоторых применений с легким илом. Щетки также можно использовать для удаления этих мягких отложений, а также некоторых микробиологических отложений. Щетки также полезны для очистки труб с улучшенными поверхностями (например, со спиральными зазубринами или ребрами) или труб с тонкостенными металлическими вставками или покрытиями эпоксидного типа.

Для более твердых отложений, ярким примером которых является карбонат кальция, были разработаны очистители металлов различной конструкции для эффективного удаления, которые можно увидеть на рисунке 2. Путман и Уокер определили использование подпружиненных очистителей труб как «надлежащее техническое обслуживание».



Рисунок 2 – Очиститель труб Conso типа C3S и C4S

Лезвия установлены на шпинделе, на одном конце которого находится зазубренный пластиковый диск, который позволяет струе воды продвигать очистители по трубе с большей гидравлической силой.

Еще одним преимуществом использования воды для приведения в движение очистителя труб является то, что удаленный материал можно

собрать в пластиковый контейнер для последующей сушки, затем взвесить для определения плотности отложений (г/м^2) и во многих случаях провести рентгенофлуоресцентный анализ.

«Давление воды 300 фунтов на кв. дюйм (2,07 МПа) очень эффективно для продвижения чистящих инструментов по трубам, предотвращая повышение их скорости на выходе выше безопасного уровня. Некоторые другие системы очистки используют воздух или смесь воздуха и воды для приведения в движение очистителя, но давление воздуха сжимаемо и опасно в использовании. Одна из таких систем изображена на рисунке 3»[57].



Рисунок 3 – Водяной пистолет

Большинство металлических очистителей имеют управляемую подпружиненную режущую кромку: но для эффективного удаления

отложений размеры режущих поверхностей должны точно соответствовать внутреннему диаметру очищаемой трубы. Это не только улучшает контакт с периферийной поверхностью, но также обеспечивает соответствующее натяжение пружины при прохождении очистителя по трубе. Очиститель труб C4S в действии можно увидеть на рисунке 4. Эффективный срок службы очистителей с такой конструкцией может достигать 12 проходов трубки.

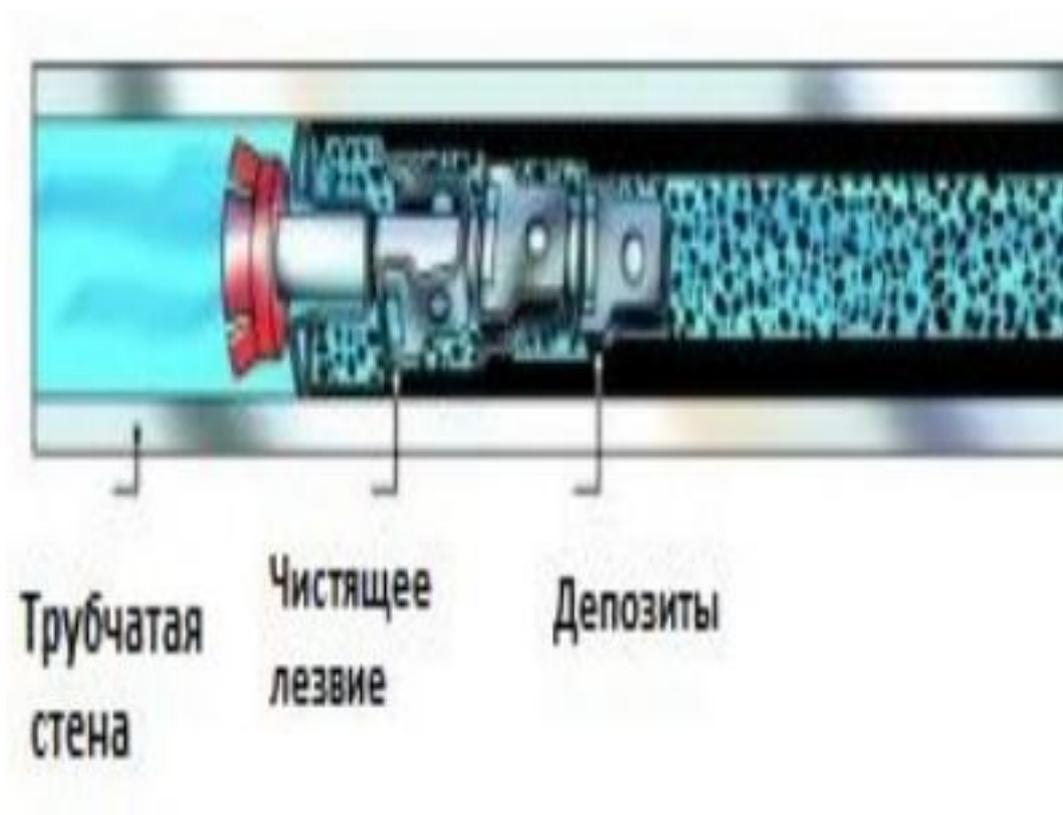


Рисунок 4 – Очиститель труб C45

Происходят инновации в очистке труб. «В результате инновационной исследовательской программы, организованной для решения проблем, возникающих в этой области, и для разработки новых продуктов там, где существующее оборудование оказалось неадекватным, были разработаны новые очистители труб. Например, чтобы обеспечить лезвиям более широкий круговой охват поверхности трубы, был разработан Conco Hex Cleaner. Было обнаружено, что увеличенная контактная поверхность, обеспечиваемая

большим количеством лезвий, более эффективно удаляет стойкие отложения, например, состоящие из различных форм марганца»[57].

«Более поздняя разработка включала инструмент для удаления твердых отложений кальцита, которые оказалось трудно удалить даже кислотной очисткой. Conco Cal Buster состоит из тefлонового корпуса, на котором установлено несколько вращающихся ножей. Они расположены под разными углами вокруг корпуса, который оснащен пластиковым диском, подобным тем, которые используются для продвижения других очистителей по трубам. Stiesma et al (1994) описали, как очистители этого типа удаляли 80 т (72,48 т) кальцитового материала из конденсатора с большой поверхностью, используя его на трубах конденсатора, в которых накопилось большое количество очень твердых отложений. Теперь он стал стандартным инструментом всякий раз, когда встречаются твердые и хрупкие отложения»[57].

«Дополнительные разработки для удаления отложений диоксида марганца, железа и кремнезема включают щетку из нержавеющей стали (SSTB), она изготовлена из нержавеющей стали и имеет более 1000 точек контакта на очиститель»[57].

Опыт, полученный при использовании этих методов, позволил с уверенностью прогнозировать продолжительность очистки и выполнять ее в соответствии с графиком. Например, обычная бригада может очистить 5000 труб за 12-часовую смену. Ясно, что количество пробинок, очищаемых за день, может увеличиваться с увеличением численности бригады, ограничиваясь только наличием достаточного места для эффективной работы бригады.

«Иногда высказывается опасение, что механические очистители могут повредить поверхности труб. При правильно спроектированных и тщательно изготовленных очистителях такие повреждения возникают крайне редко. Действительно, Novland et al (1988) провели контролируемые испытания, неоднократно пропуская такие очистители через 30-футовые трубки из 90-10

CuNi. Было обнаружено, что после 100 проходов этих очистителей толщина стенки уменьшилась только на 0,0005–0,0009 дюйма (12,5–22,86 мкм). Если критическим параметром является уменьшение толщины стенки на 50%, экстраполяция этой серии испытаний будет эквивалентна 2800 проходам очистителя на трубу или 1000 годам очистки конденсатора»[57].

«Очевидно, что все автономные методы очистки иногда нуждаются в помощи, если отложения накапливаются и даже затвердевают. В таких случаях может потребоваться кислотная очистка с последующей очисткой механическими очистителями или водой под высоким давлением для удаления остатков мусора»[57].

«Химические вещества также используются для автономной очистки труб теплообменников. Доступны несколько слабокислотных продуктов, которые удаляют больше отложений, чем большинство других методов, но они дороги, продолжительность работы чрезмерна, а последующая утилизация химикатов требует серьезного рассмотрения из-за потенциальной опасности для окружающей среды. Также довольно часто было обнаружено, что некоторый остаточный материал все же необходимо удалить методами механической очистки. Одним из очень эффективных методов удаления сложных отложений является гидробурение»[57].

Для очистки труб теплообменника доступно очень мало оперативных методов, но наиболее известной является система, в которой в качестве чистящего средства используются шарики из рециркулируемой губчатой резины. «Эти системы часто работают только часть дня и вместо того, чтобы поддерживать абсолютно чистые поверхности труб, имеют тенденцию просто ограничивать степень загрязнения труб. Хотя трубки могут стать чище при использовании абразивных шариков, износ трубок часто является неблагоприятным последствием такой очистки. Более того, эта система не эффективна для отвержденных технологических химикатов или продуктов нефтепереработки»[57].

«Mussalli et al (1991) продемонстрировали некоторую неопределенность в отношении распределения губчатых шариков и, следовательно, того, сколько трубок фактически очищается на линии. Также нередко обнаруживают, что в трубах застревает большое количество губчатых шариков, которые появляются среди материала, удаляемого во время операций механической очистки. По этим причинам трубы теплообменников, оснащенных этими оперативными системами, по-прежнему необходимо периодически очищать в автономном режиме, особенно если потеря производительности вызывает серьезную озабоченность»[57].

С момента своего изобретения в 1970 году HydroDrill, показанный на рисунке 5, Global HydroDrill в действии, использовался на нефтеперерабатывающих, нефтехимических, целлюлозно-бумажных комбинатах, электростанциях и других предприятиях обрабатывающей промышленности по всему миру.



Рисунок 5 - Global HydroDrill в действии

Хотя HydroDrill обеспечивает агрессивное очищающее действие, его можно использовать часто и регулярно. Подробная информация

представлена в Заявлении о квалификации компании Global Heat Exchanger Services.

HydroDrill чрезвычайно эффективен при бурении твердых и прочных отложений, и после бурения часто можно спасти теплообменники, которые ранее считались бесполезными. Гидробурение также может выполняться на месте, что устраняет необходимость в отправке пакетов за пределы площадки для очистки. Полностью заблокированные трубы могут быть восстановлены до 100% исходного внутреннего диаметра трубы за один проход HydroDrill, очистка труб за один проход снижает трудозатраты. Типичная скорость очистки для трубы длиной 20 футов составляет от 30 до 90 секунд каждая. Ранее поврежденные трубы можно очистить и отполировать до 100-процентной эффективности, чтобы можно было провести осмотр.

«Например, в одном случае один и тот же блок теплообменников засорился настолько сильно, что требовалось чистить каждые два месяца, что привело к 30 чисткам за пять лет. При проверке было сообщено, что трубки теплообменника сохранили свое первоначальное состояние. Японская компания провела дополнительные подробные испытания, подтвердившие безопасность использования HydroDrill. Загрязненные пачки, которые были определены как лом, часто после неудачи других методов очистки, могут быть восстановлены и возвращены в эксплуатацию»[57].

HydroDrill может эффективно очищать твердые отложения, такие как:

- кальций,
- сера,
- бокситы,
- асфальт,
- оксиды,
- запекаемые твердые полимеры.

«HydroDrill разработан для максимальной эффективности очистки с минимальным риском. Долото, вращающееся со скоростью от 1000 до 2000 об/мин, удаляет отложения вращательным скребковым действием. Размер

насадок для труб варьируется от 3/8” до 6 дюймов, наиболее распространенными размерами труб являются 1/2”, 3/4”, 1” и 1 1/2”. Различные долота показаны на рисунке 6»[57].



Рисунок 6 – Различные биты HydroDrill

Долото сконструировано таким образом, чтобы исключить повреждение трубы во время операции бурения. Насадка имеет длинный хвостовик, чтобы обеспечить полное совмещение оси насадки и оси трубки. Твердосплавные скребки находятся только на передней кромке долота. Углы биты закруглены, поэтому нет острых углов, которые могли бы выдолбить стенку трубы. Сверло движется по тонкому слою жидкости (воды) для смазки опорных поверхностей между долотом и стенкой трубы.

«Система может вмещать изогнутые трубы. Длинный, тонкий стержень келли, приводящий в движение долото, по своей природе изгибается, чтобы следовать за трубой. Система также проста в настройке и эксплуатации: бригада из двух человек может настроить оборудование за один час или меньше. Управление оборудованием простое, ножная педаль и 4-ходовой клапан являются элементами управления»[57].

Полная установка показана на рисунке 7.

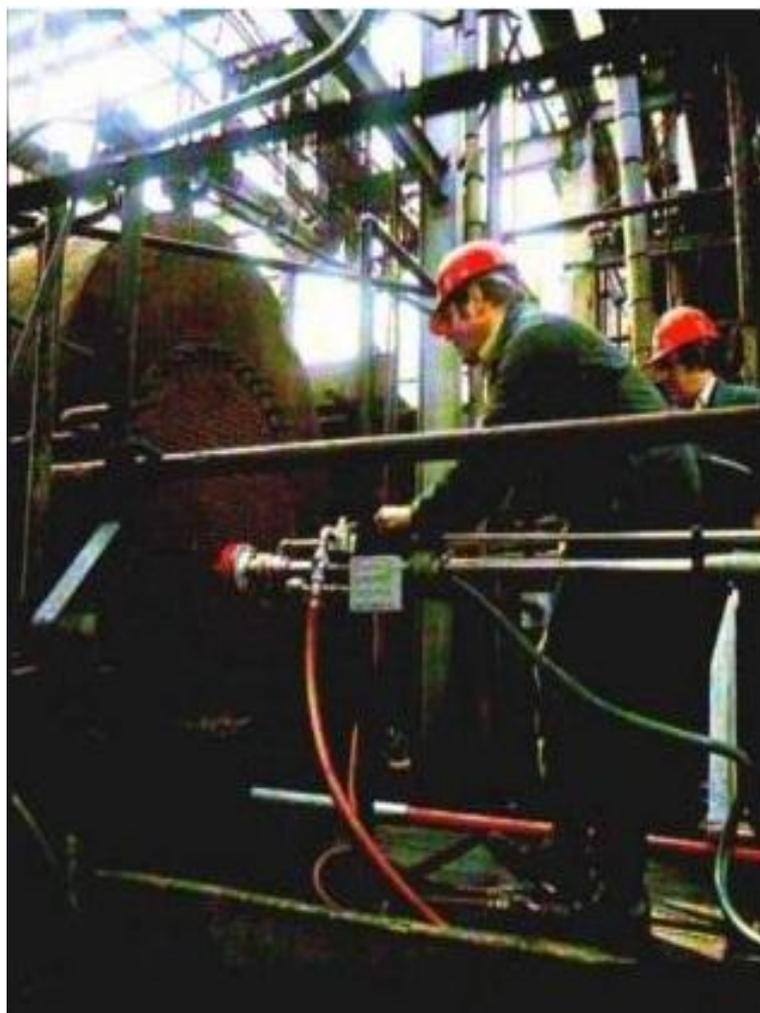


Рисунок 7 – Полная настройка гидробура

«Никаких сложных настроек или регулировок не требуется. Приблизительно 80 галлонов воды и воздуха являются единственными потребностями завода. В HydroDrill используется небольшой объем воды (от

2 до 3 галлонов в минуту при давлении от 200 до 300 фунтов на квадратный дюйм), который фильтруется и рециркулируется через бустерный насос»[57].

«Поскольку в HydroDrill не используется вода под высоким давлением или опасные химикаты, риск травм или повреждения имущества значительно меньше, чем при использовании других методов. Конструкция HydroDrill была подтверждена успешной очисткой тысяч теплообменников, а также испытаниями и проверками, проведенными клиентами Global Heat Exchanger Service»[57].

«Жесткие затвердевшие отложения могут быть удалены быстрее и с меньшими общими затратами. Более 30 лет Hydrodrill зарекомендовал себя как эффективный и агрессивный метод очистки для использования на технологических установках во многих отраслях промышленности. Его эффективность, безопасность и доступность сделали его незаменимой технологией для многих объектов»[57].

Результат гидробурения труб теплообменника:

- меньше времени и затрат на плановую уборку;
- более высокая эффективность теплопередачи;
- меньший риск травм персонала или повреждения имущества;
- меньше отходов и меньше затрат, связанных с утилизацией отходов;
- низкий риск.

Выбранная процедура очистки должна максимально эффективно удалять определенные присутствующие отложения и выводить устройство из строя на минимальное время.

Многие методы очистки труб неэффективны, если внутри труб есть препятствия или присутствуют различные формы макрообрастания. При обнаружении таких препятствий нецелесообразно продолжать плановую очистку. Следует уделять внимание моллюскам, которые представляют собой макрообрастание, и могут включать азиатских моллюсков и полосатых мидий в охлаждающей воде. Также необходимо учитывать другие препятствия, возникающие непосредственно из технологической среды.

Выбранный очиститель труб должен иметь корпус и силу для удаления таких препятствий. Метод очистки также должен позволять удалять биосальный материал, который используют моллюски, чтобы прикрепиться к стенкам трубы, и затвердевшие отложения старения.

Существуют определенные типы другого мусора и технологических примесей, которые могут стать препятствиями, среди них: наполнитель градирни, отходы строительных материалов, губчатые резиновые шарики, камни, палки, ветки, морские водоросли и загрязнители пресной воды, любой или все из которых может застрять в трубах и потребует удаления. Между тем опыт показал, что при соблюдении соответствующих процедур правильно сконструированные очистители не должны застревать внутри труб, если только труба не деформирована.

Когда теплообменники оснащены трубками из медного сплава, отложения меди постоянно растут, а толстое оксидное покрытие или продукты коррозии могут вырасти до такой степени, что это серьезно затруднит теплопередачу. Мало того, что производительность конденсатора ухудшится, такие отложения также увеличат вероятность выхода трубки из строя. Когда толстый внешний слой пористого оксида меди может образоваться, он разрушает защитную внутреннюю пленку оксида меди, подвергая основной металл воздействию коррозии и вызывая образование питтинга под отложениями. Такие разрушительные скопления оксида меди вместе с любыми другими отложениями необходимо регулярно удалять.

Шероховатая поверхность труб, часто являющаяся результатом скопившихся отложений, связана с повышенным коэффициентом трения, в то время как уменьшенный расход охлаждающей воды способствует более быстрому накоплению отложений. Также было обнаружено, что на шероховатых поверхностях труб легче образуются ямки, чем на гладких поверхностях. Поверхность трубы, ставшая гладкой в результате эффективной очистки, может повысить производительность конденсатора за счет:

- улучшенная теплопередача и меньший рост температуры воды в теплообменнике, что снижает потери тепла в окружающую среду;

- увеличение как объема потока, так и скорости воды, что часто приводит к снижению мощности насоса;

- увеличение времени между чистками за счет снижения скорости повторного отложения загрязняющих веществ на поверхности труб;

- уменьшение питтинга из-за турбулентности и взрыва газовых пузырей;

- увеличенный срок службы трубки и теплообменника.

«Из Putman and Jaresch (2002) мы знаем, что внешние поверхности оребренных труб теплообменников с воздушным охлаждением очень подвержены загрязнению пылью, пылью, насекомыми, листьями, полиэтиленовыми пакетами, тушками птиц и т. д. Не только воздух расход, но и коэффициент теплопередачи: ухудшение производительности, увеличение удельных эксплуатационных расходов. В тяжелых случаях загрязнение также может ограничивать генерирующую или производственную мощность установки или процесса»[15].

Чтобы улучшить теплоотвод теплообменника с воздушным охлаждением в условиях высокой температуры окружающего воздуха, операторы иногда распыляют воду на теплообменник для снижения температуры поверхности. К сожалению, в зависимости от качества используемой воды это иногда приводит к образованию новой накипи на ребрах труб и, опять же, снижает скорость теплопередачи, если допустить накопление отложений.

Три основных метода очистки внешних поверхностей конденсаторов с воздушным охлаждением:

- пожарный шланг,
- выдерживает высокое давление,
- автоматическая машина для очистки.

«В то время как объем потребляемой воды высок, пожарный шланг обеспечивает лишь низкий эффект промывки из-за низкого давления. Оцинкованные поверхности труб и ребер при этом не повреждаются. К сожалению, для проведения очистки завод необходимо вывести из эксплуатации и возвести строительные леса. Процесс также может быть трудоемким и трудоемким в зависимости от конструкции устройства и доступности»[15].

«Также было обнаружено, что использование пожарного шланга приводит лишь к небольшому улучшению характеристик, даже если поверхности кажутся оптически чистыми. Причина в том, что смывается только часть загрязняющего материала, а остальная часть запрессована между трубками ребер и не может быть вымыта этим методом. Кроме того, после сжатия загрязняющий материал не только препятствует теплопередаче, но и затрудняет поток воздуха»[15].

«Метод обработки под высоким давлением обеспечивает низкое потребление воды и высокое давление воды. К сожалению, последнее может привести к повреждению оцинкованных поверхностей или даже к поломке ребер. Опять же, завод должен быть выведен из эксплуатации и возведены леса, чтобы можно было провести очистку. Доступность установки влияет на производительность уборки»[15].

«Как и в случае использования пожарного рукава, эта процедура приводит лишь к небольшому улучшению производительности, а после сжатия загрязняющего материала затрудняет теплопередачу и поток воздуха»[15].

«Автоматическая машина для очистки, использует значительный объем воды. Давление воды позволяет эффективно очищать поверхности, избегая при этом повреждения оцинкованных поверхностей и ребер. Основные компоненты системы включают в себя сопловую балку, систему слежения и панель управления. Вода не содержит добавок. Луч сопла оптимально соответствует геометрии пучка труб с постоянным углом струи.

Оптимизация геометрии луча сопла включает определение надлежащего расстояния сопла до поверхности, энергии струи и выбор соответствующей конструкции сопла. Постоянный угол струи также гарантирует, что ребра трубки не будут повреждены или отломаны, независимо от материала, из которого они изготовлены. Кроме того, каретка, на которой установлена балка сопла, движется с постоянной скоростью, что позволяет эффективно и равномерно удалять загрязнения с теплообменных элементов теплообменника. Поскольку загрязняющий материал удален, потоку воздуха больше не препятствуют»[15].

«Важным преимуществом автоматизированного метода очистки является то, что очистку можно выполнять во время работы, когда установка еще подключена к сети. Кроме того, нет необходимости в строительных лесах, а трудозатраты сведены к минимуму»[15]. Автоматизированная система очистки может применяться в трех основных формах:

- «стационарно установленная система с управлением ПЛК, по одной системе на каждую сторону теплообменника;
- полуавтоматическая система, в которой постоянно установлены только направляющие, а каретка балки сопла перемещается от секции к секции по мере очистки;
- портативная сервисная установка вместе с переносной тележкой сопла и блоком управления. Услуги по уборке выполняются на месте или квалифицированным поставщиком услуг»[15].

К сожалению, часть этих уже существующих методов требует либо полной, либо частичной разборки теплообменника, что совершенно невыгодно и довольно затратно, как в плане времени, так и экономики, что в свою очередь сказывается на производительности труда. Вдобавок к этому далеко не всегда можно совершить разборку, поскольку оборудование да и сам агрегат могут находиться в труднодоступных местах, к примеру, на приличной высоте. Методы же, не требующие разборки так же не годятся, поскольку, пусть и являются достаточно распространенными по сравнению с

другими, не только не способны обеспечить полную промывку, но и вдобавок к этому имеют ряд значительных недостатков.

Из всего изложенного выше можно сделать соответствующий вывод: полностью удовлетворяющего и подходящего метода нет, а значит, требуется новый.

1.3 Задачи диссертации

Подводя итоги первого раздела, напрашиваются следующие выводы: полностью подходящего и удовлетворяющего все потребности, в число которых входит доступность, возможность не прибегать к полной и частичной разборке оборудования и агрегата, сокращение вмешательства человека в процесс, уменьшение вероятности возникновения перечисленных ранее недостатков, не существует, а значит, требуется его спроектировать и изготовить.

Для достижения цели диссертации необходимо решить следующие задачи:

- выбрать метод;
- спроектировать установку для метода;
- подготовка конструкторско-технологической документации.

Глава 2 Разработка конструкции автоматической установки

2.1 Форма и закрепление установки

Отталкиваясь от рассмотренных в первой главе уже существующих систем для очистки, принимаем конструктивное решение, а именно – установка для очистки теплообменника будет выполнена в виде «рамки». Это решение обусловлено тем, что прямоугольная форма рамки более доступный и менее затратный вариант, также она захватывает все отверстия трубок теплообменника, что способствует эффективной очистке. Конструкция прикрепляется к теплообменнику при помощи отверстий.

На рисунке 8 представлены варианты закрепления установки.

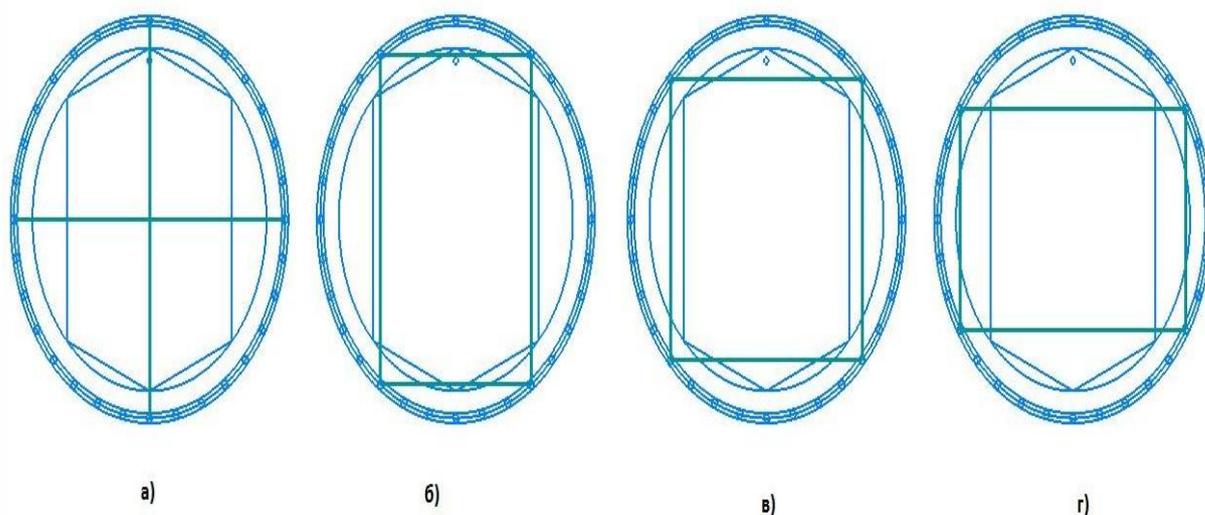


Рисунок 8 – Варианты закрепления установки

Выбираем вариант б, так как из всех представленных он самый удачный, поскольку захватывает все отверстия трубок теплообменника, что обеспечивает полноценную очистку трубок теплообменного аппарата, а также, в отличие от варианта а, выполненного в виде креста, крепежные

изделия, расположенные в четырех углах рамки установки, не будут препятствовать передвижению устройства, предназначенного для подачи воды и средств для очистки.

2.2 Подбор деталей

Выбираем детали для автоматической установки при помощи каталога PureLogic.

Основой всего служит алюминиевый 3д профиль, изображенный на рисунке 9.

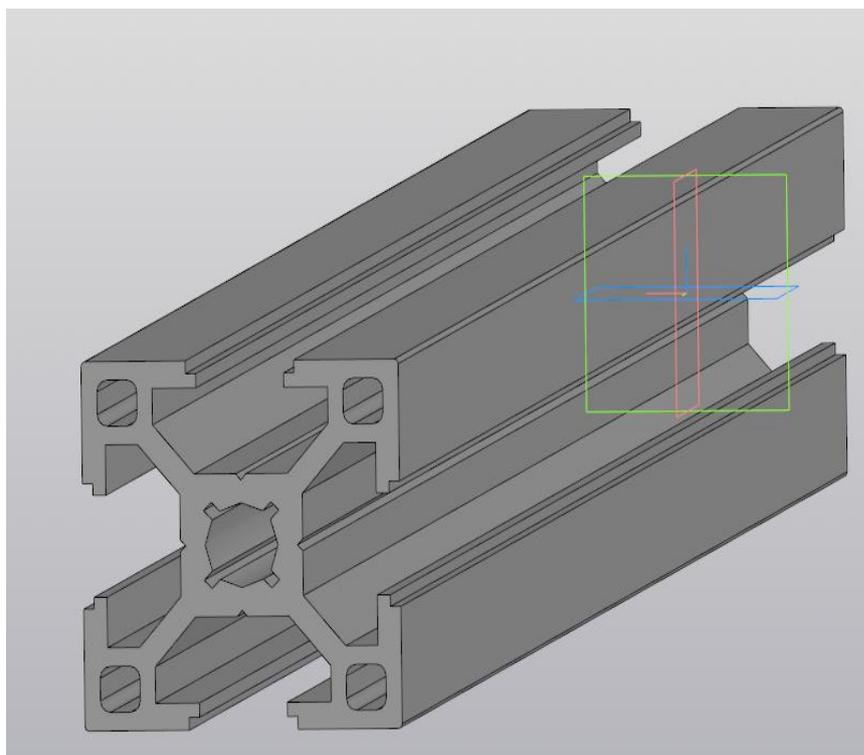


Рисунок 9 – Алюминиевый 3 д профиль

Анодированный конструкционный алюминиевый профиль с пазами под крепление гайкой. Профиль имеет высокую прямолинейность, удельную жесткость на изгиб и кручение. Профиль легко обрабатывается и собирается,

благодаря наличию разнообразных аксессуаров. Бренд: PL
Тип: Конструкционный профиль Вес, кг: 2.7 Ширина: 60 мм Высота: 60 мм
Ширина паза: 8 мм Вид: Профиль алюминиевый

Анодированный конструкционный алюминиевый профиль с пазами под крепление гайкой. Профиль имеет высокую прямолинейность, удельную жесткость на изгиб и кручение. Профиль легко обрабатывается и собирается, благодаря наличию разнообразных аксессуаров. Цена указана за метр.
30x30мм, паз 8мм

Бренд: PL Тип: Конструкционный профиль Вес, кг: 0.83 Ширина: 30 мм
Высота: 30 мм Ширина паза: 8 мм Вид: Профиль алюминиевый.

Следующая деталь для конструкции – пазовый сухарь, изображенный на рисунке 10.

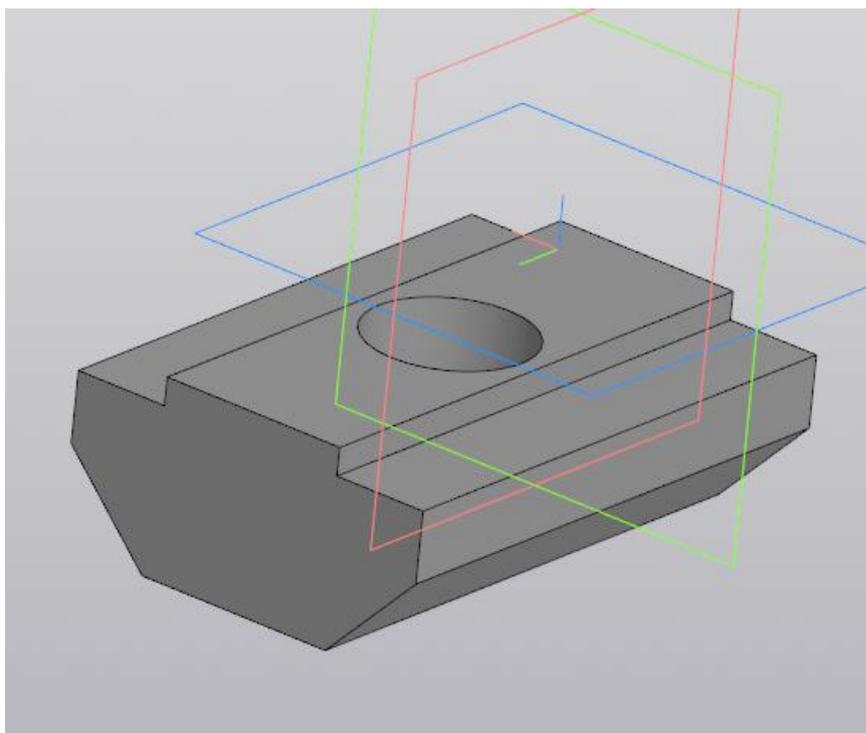


Рисунок 10 – Пазовый сухарь

Пазовый сухарь устанавливается в профиле через паз, через край профиля. Предназначен для монтажа различных элементов на профиле.

Может использоваться для соединения двух профилей в одной плоскости. М8, для 30 профиля, под паз 8 мм Бренд: PL Тип: Сухарь пазовый. Вес, кг: 0.007. Ширина паза: 8 мм. Тип резьбы: М8. Вид: Крепеж к алюминиевому профилю. Типоразмер: 30

Пазовый сухарь устанавливается в профиле через паз и край профиля. Предназначен для монтажа конструктивных элементов установки и узлов для выполнения очистки на 3 Д профиле. Может использоваться для соединения двух профилей в одной плоскости. Используется резьбовое соединение М8, для профиля 30 PL, под паз 8 мм. Соответственно сухарь пазовый к алюминиевому профилю имеет типоразмер: 30. Также сухарь данного типа используется для соединения 3 Д профилей и рельсовых направляющих установки, одна из которых изображена на рисунке 11.

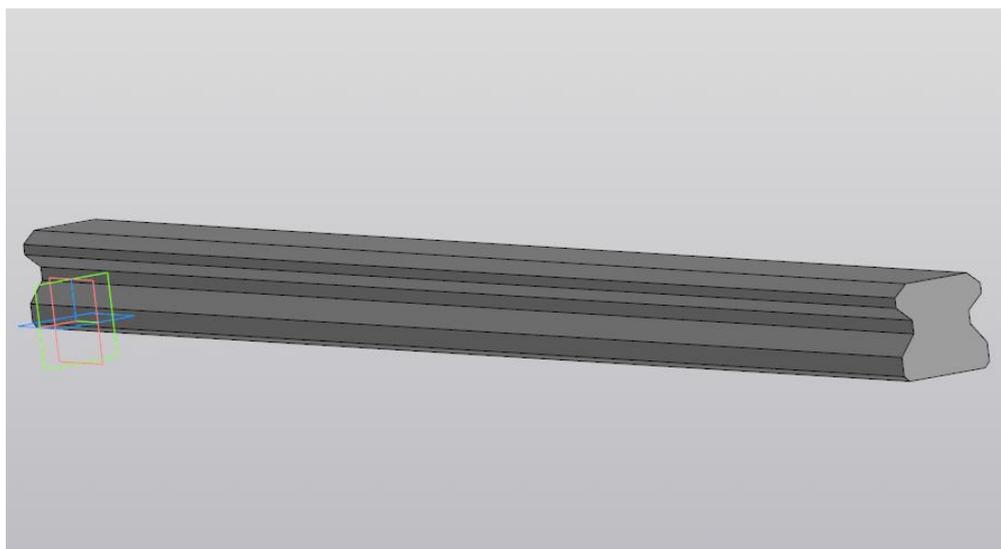


Рисунок 11 – Рельсовая направляющая

Профильные рельсовые направляющие обеспечивают точное линейное перемещение узлов в станках с ЧПУ. Аналог направляющих Hiwin серии HG того же типоразмера. Подходят для опорных модулей GHN30 и GHW30. Расстояние от края до крепёжных отверстий не регламентируется.

Бренд: HIWIN. Серия: HG. Типоразмер:30. Вид: Профильные рельсовые направляющие. Ширина:28 мм. Высота:26 мм

Профильные рельсовые направляющие обеспечивают точное линейное перемещение узлов в станках с ЧПУ. Аналог направляющих Hiwin серии HG того же типоразмера. Подходят для опорных модулей GHN30 и GHW30. Расстояние от края до крепёжных отверстий не регламентируется. Бренд: HIWIN. Серия: HG. Типоразмер:30. Вид: Профильные рельсовые направляющие рельсового типа. Ширина:28 мм. Высота:26 мм. Перемещение конструктивных элементов установки и узлов для выполнения очистки на 3 Д профиле осуществляется при помощи каретки, изображенной на рисунке 12.

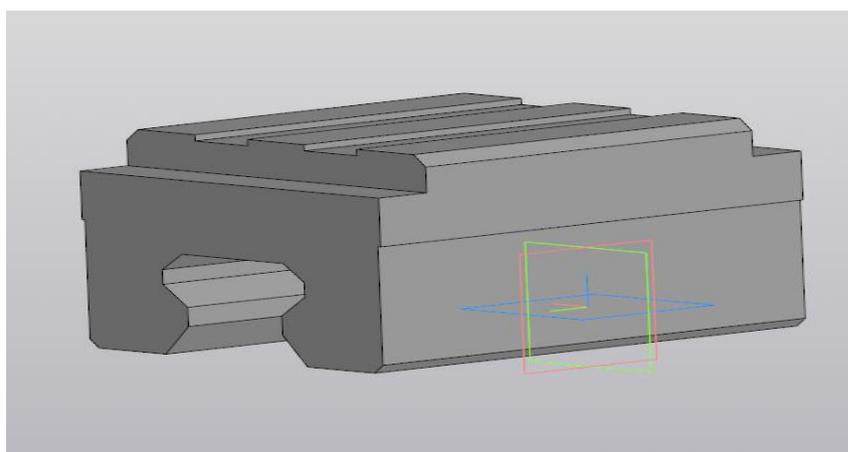


Рисунок 12 – Каретка

Бренд: HIWIN. Серия: HG. Типоразмер:30. Форм-фактор: Прямоугольный. Преднаг: Лёгкий. Вид: Опорные модули для профильных рельс. Габаритные размеры (ДхШхВ), мм:98х60х39

Каретка предназначена для перемещения устройства подачи воды. Устанавливается на рельсовую направляющую. Фактически выбор направляющей и каретки осуществляется так, чтобы была образована пара качения. Так обеспечивается точность взаимного расположения узлов и

элементов установки в пространстве. В качестве каретки, таким образом, выбрано исполнение HIWIN. Серия: HG. Типоразмер:30. Форм-фактор: прямоугольный. Преднатяг: лёгкий. Вид: опорные модули для профильных направляющих рельсового типа. Габаритные размеры (ДхШхВ), мм:98х60х39.

Для обеспечения требуемого пространственного расположения узлов и элементов установки необходимо обеспечить жесткостные характеристики и надежность в местах соединений ее элементов после сборки. Учитывая, что за основу конструкции был взят алюминиевый 3 Д профиль было принято решение применить силовые уголки в узлах установки алюминиевых 3 Д профилей. Таких узлов в данном компоновочном решении – четыре. Соответственно, следующей задачей проектирования является выбор типового исполнения соединительных уголков, либо в случае отсутствия такого решения – выполнить работы по проектированию уголка, рисунок 13.

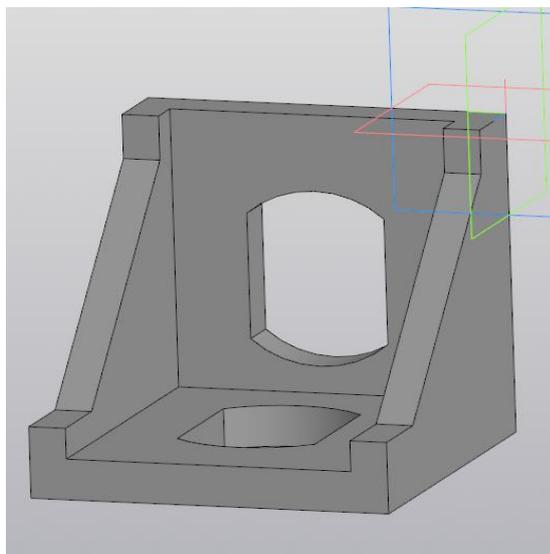


Рисунок 13 – Уголок

Уголок предназначен для соединения 3 д профилей в рамку. Бренд: PL. Вес, кг: 0,017. Ширина паза: 8 мм. Тип резьбы: Нет. Вид: Крепеж к алюминиевому профилю. Типоразмер: 30

Уголок предназначен для соединения четырех 3 д профилей в виде устойчивой рамы установки. Устанавливается уголок на сухарь (рисунок 10), соединенный ранее с профилем. Тип PL. Ширина паза: 8 мм. Типоразмер: 30.

Все соединения рамы установки выполняются затяжкой по резьбе М8. Такой же способ используется и в соединении пазового сухаря с 3 д профилем.

Используем стандартный Винт М6 с головкой под шестигранный ключ, изображенный на рисунке 14.

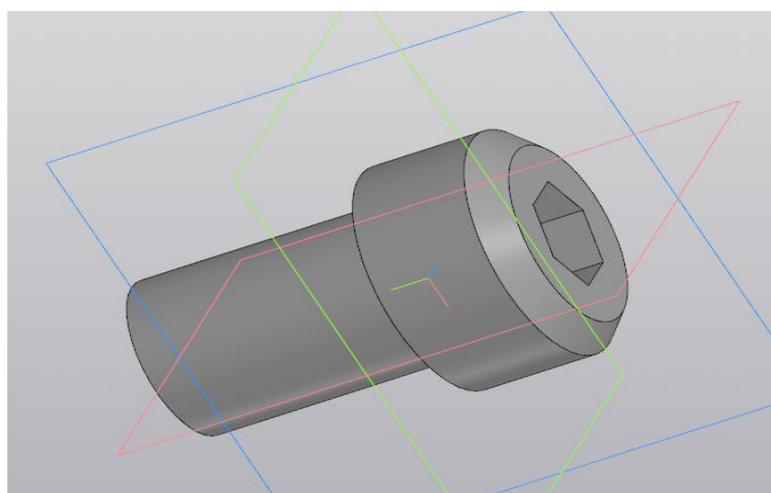


Рисунок 14 – Винт

Подобранные детали в дальнейшем будут использованы для сборки конечной модели конструкции автоматической установки для очистки теплообменных аппаратов. В дальнейшем будет рассмотрен сам процесс сборки выбранных деталей в полноценную конечную модель конструкции автоматической установки для очистки теплообменных аппаратов, а также помимо этого в дальнейшем будут описаны принципы взаимодействия выбранных деталей в готовой конструкции автоматической установки и их обеспечение процесса очистки теплообменных аппаратов.

2.3 Конечная модель конструкции установки

Конечная модель конструкции автоматической установки для очистки теплообменных аппаратов изображена на рисунке 15.

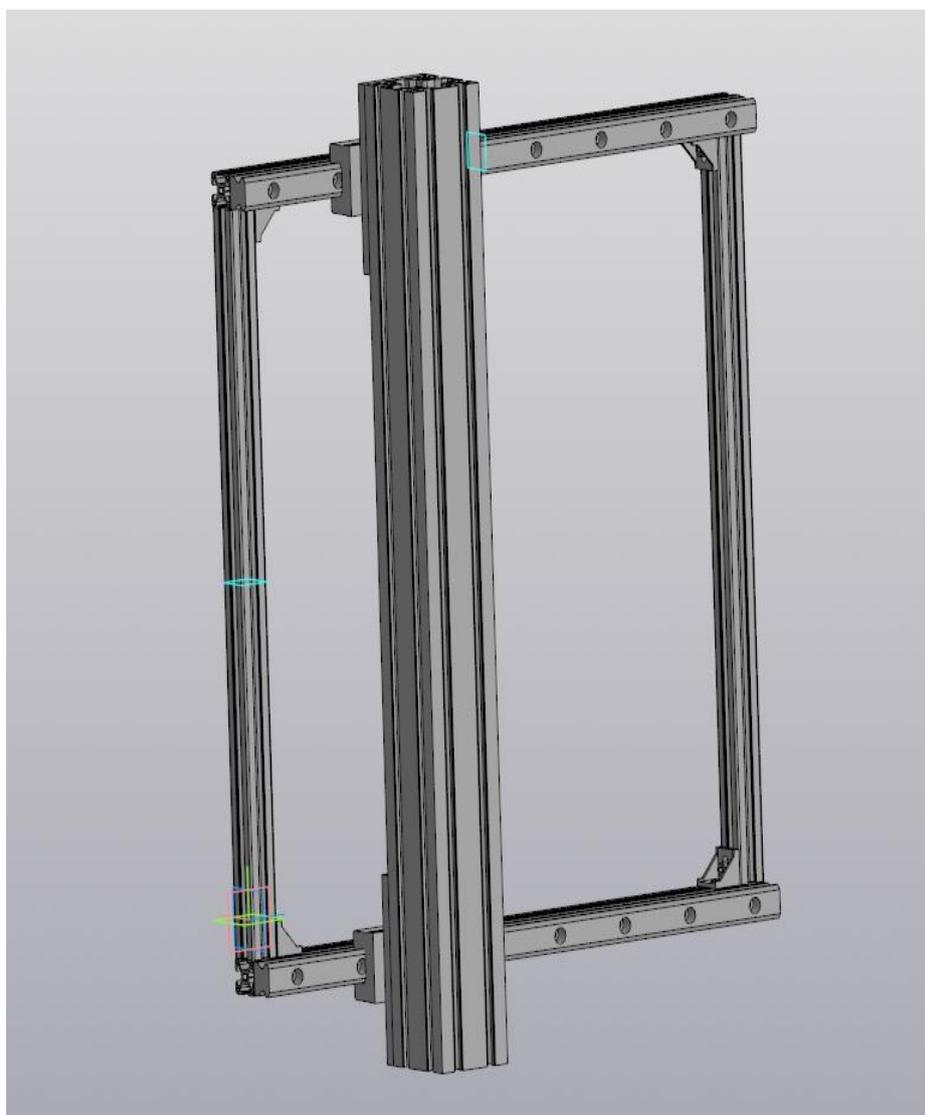


Рисунок 15 – Конечная модель конструкции установки

Как видно по рисунку, 3д четыре 3 д профиля, скрепленные посредством соединения уголка и пазовых сухарей со стандартными винтами, образуют форму рамки, что в дальнейшем обеспечит наиболее эффективную

очистку, поскольку данная форма позволяет охватить все отверстия трубок теплообменного аппарата. В пазы 3д профилей устанавливаются пазовые сухари, которые в свою очередь обеспечивают соединение 3д профилей с направляющими, предназначенными для передвижения кареток. Между каретками и 3д профилем располагается специальная пластина, которая обеспечивает их соединение, как это видно на рисунке 16:

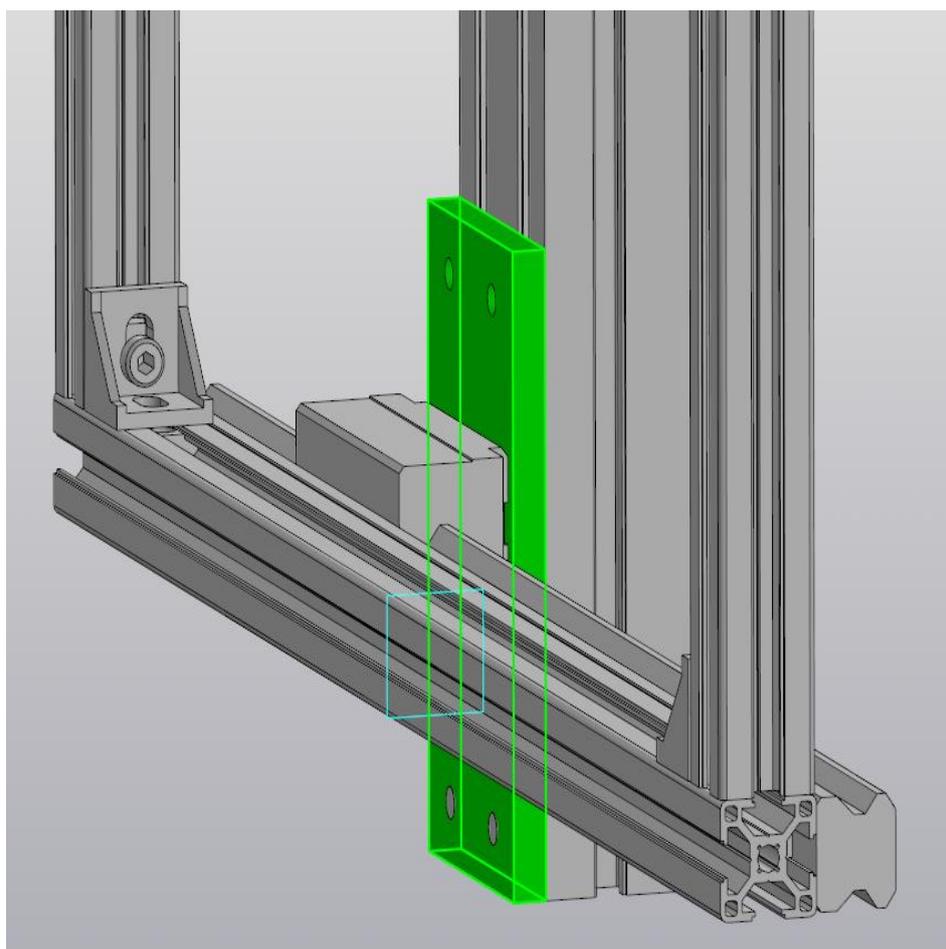


Рисунок 16 - Пластина

Как показано на рисунках 17 и 18, специальная пластина соединяется с 3д профилем при помощи установленных в пазах 3д профиля пазовых сухарей, а именно – стандартный винт М6, проходящий через отверстия в

специальной пластине и отверстия в пазовых сухарях, обеспечивает конечное соединение вышеперечисленных деталей.

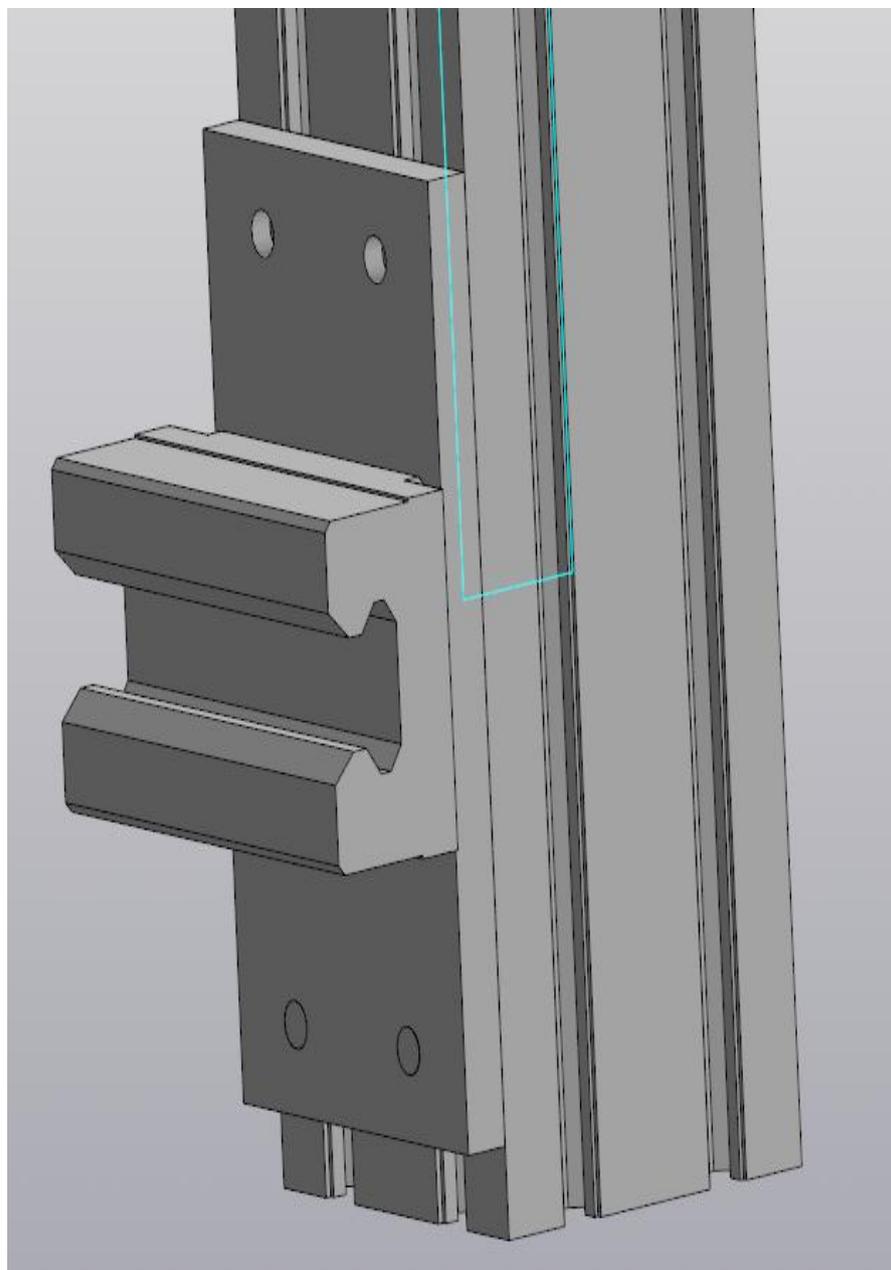


Рисунок 17 – Соединение пластины с 3д профилем

Через другие отверстия в специальной пластине обеспечивается ее соединение с кареткой. Как и в предыдущем случае, винт проходит через

отверстия в специальной пластине и отверстия кареток, тем самым соединяя их.

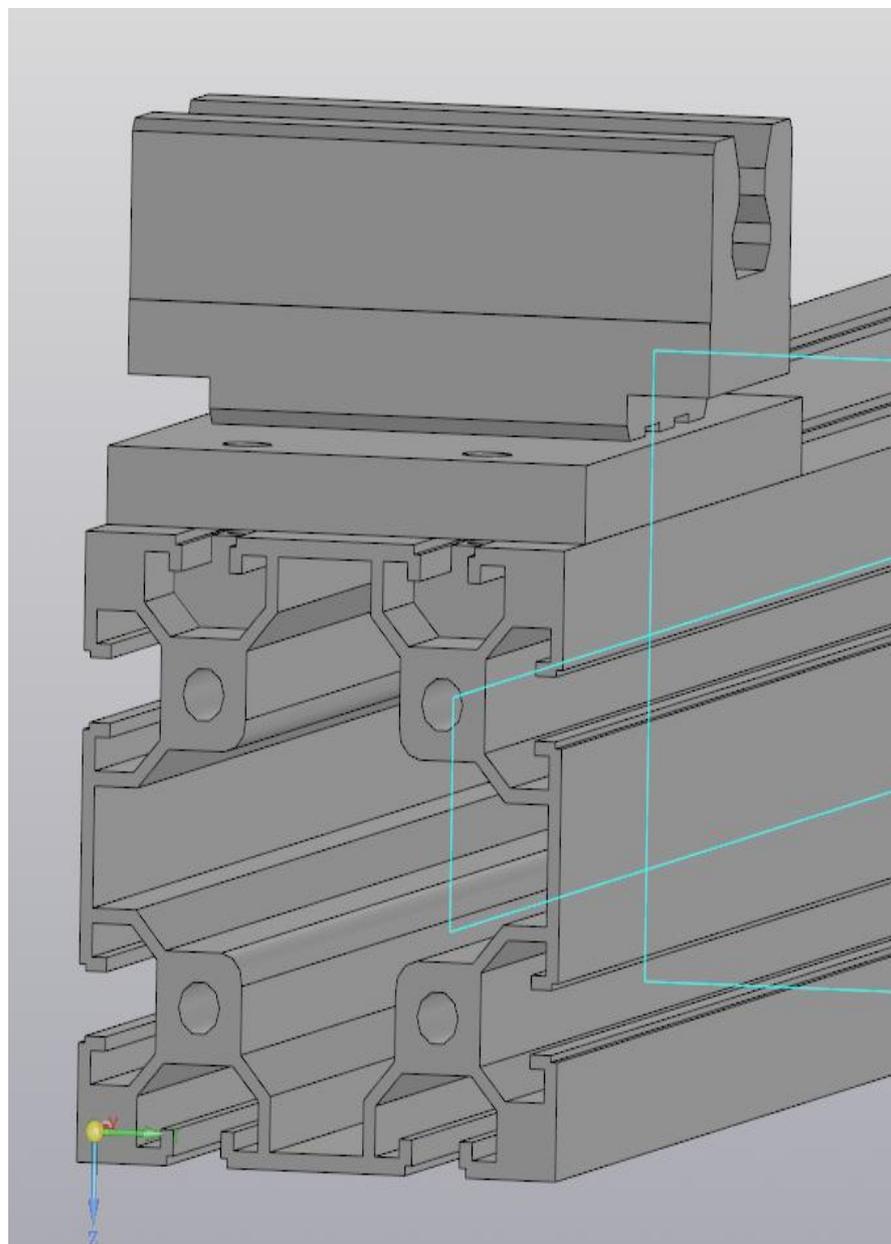


Рисунок 18 – Соединение пластины при помощи пазов

На 3д профиль в будущем будет установлено устройство подачи воды, которое будет перемещаться по этому же 3д профилю. Подача воды

происходит через отверстие в пластине, установленной на 3д профиле, как показано на рисунке 19.

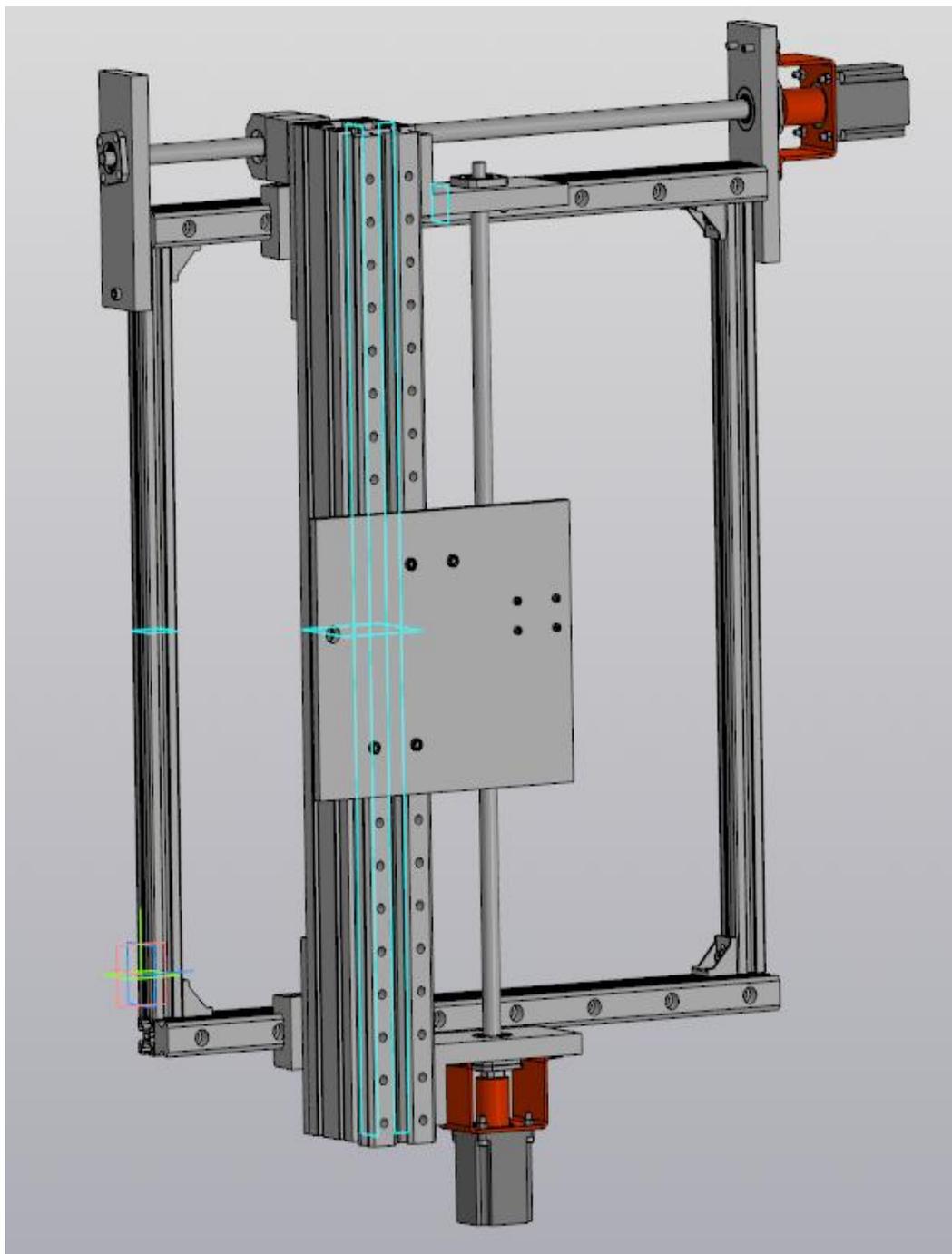


Рисунок 19 – Пластина для устройства подачи воды

Как видно по рисунку 20 пластина для подачи воды или средств для очистки устанавливается на каретки, которые в свою очередь перемещаются

по направляющим, расположенным на упомянутом ранее 3д профиле, что обеспечивает благополучную очистку всех отверстий трубок теплообменного аппарата.

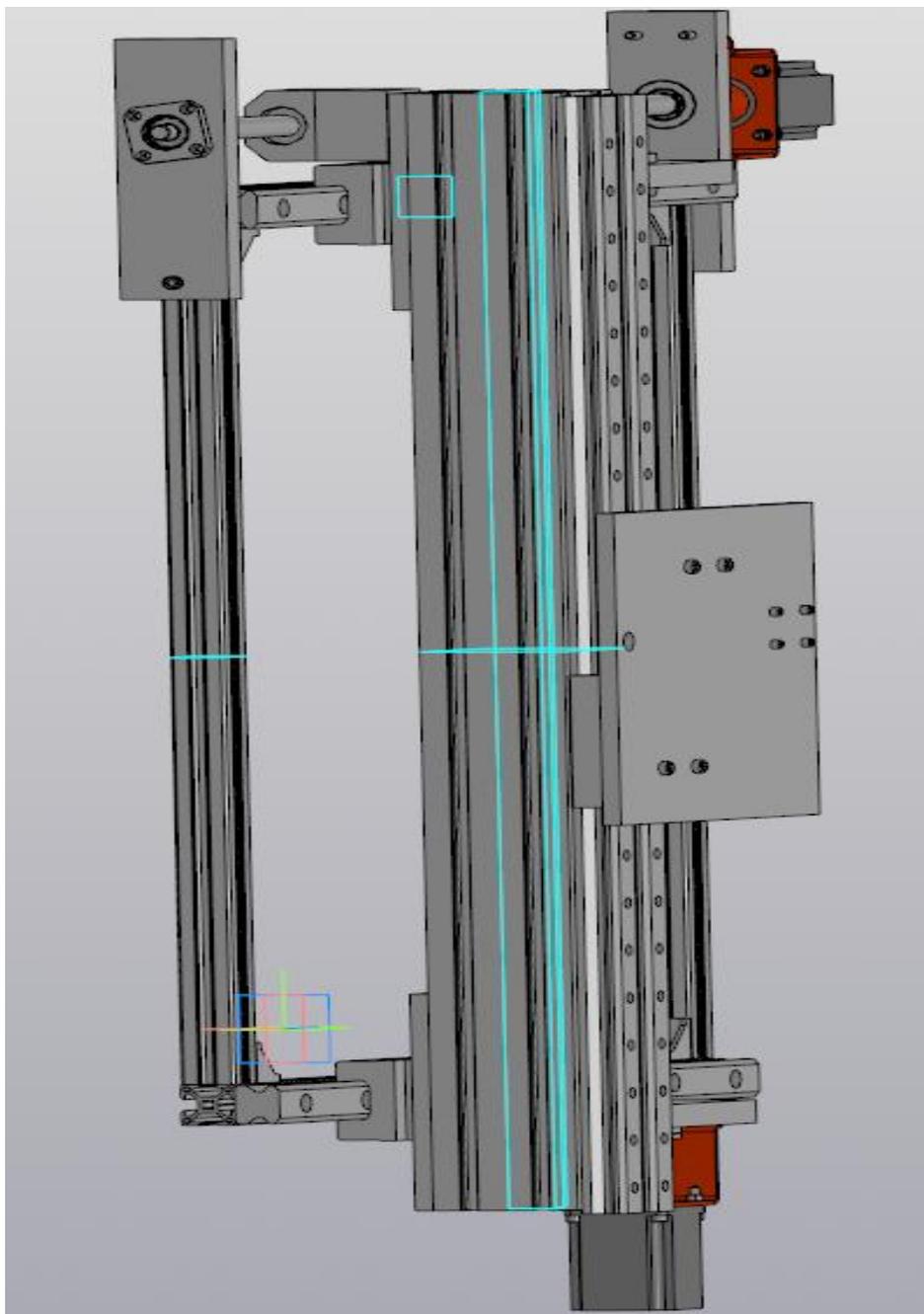


Рисунок 20 – Вид пластины сбоку

Также на рисунке 20 видно, что при помощи специальной пластины 3д профиль, отвечающий за перемещение устройства подачи воды или

чистящих средств, соединяется с собранными воедино гайкой и держателем гайки. Благодаря этой связи также осуществляется перемещение 3д профиля, а следовательно, и устройства подачи воды или чистящих средств, что обеспечивает полную очистку всех отверстий трубок теплообменного аппарата. На рисунке 21 показано в приближенном варианте описанное ранее необходимое соединение.

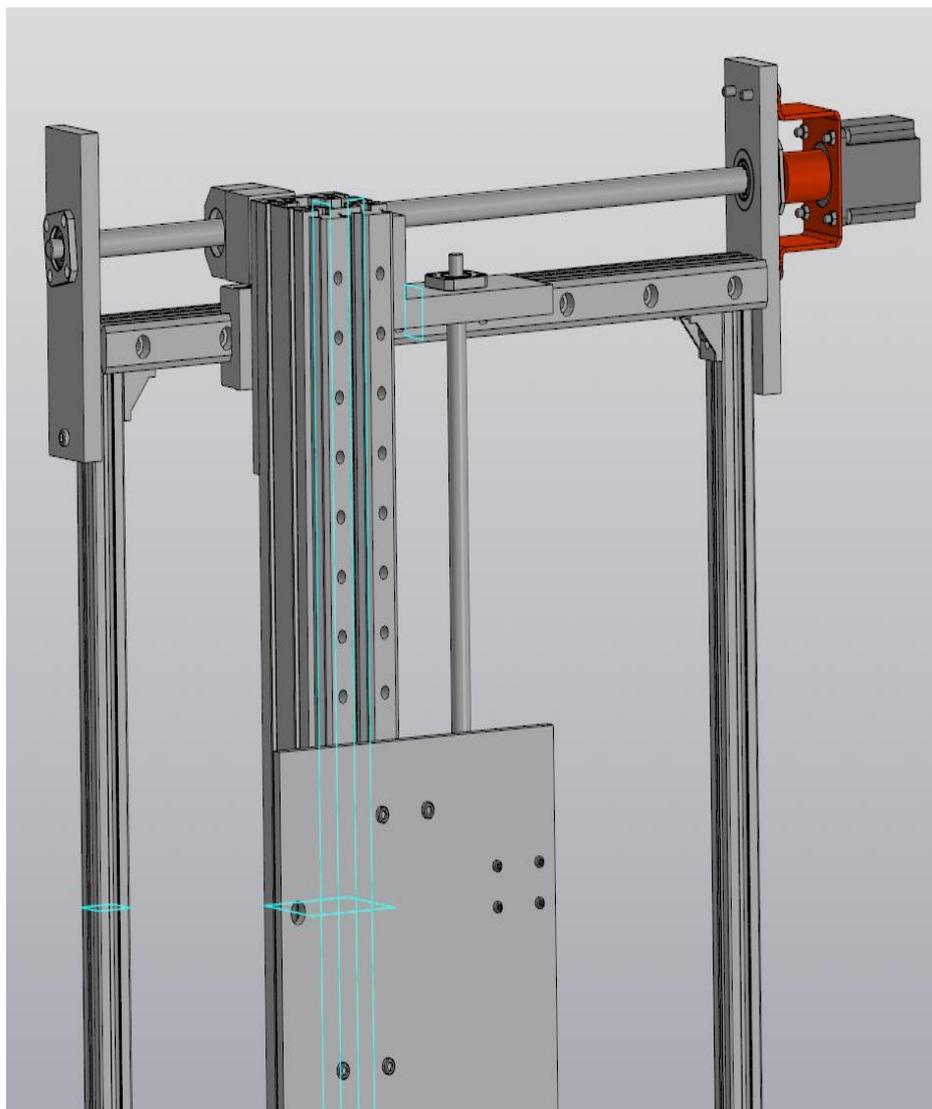


Рисунок 21 – Соединение пластины

На рисунке 21 изображено описанное ранее необходимое соединение в приближенном варианте. Описанная ранее гайка, соединенная с держателем

гайки, перемещается по винту, обеспечивая и перемещение соединенного с ней при помощи специальной пластины 3д профиля и каретки, а следовательно и устройства подачи воды или чистящих средств. Винт же в свою очередь проходит через отверстия установленных на образующих рамку установки 3д профилях и расположенных в данных отверстиях опоры, которые надежно фиксируют винт. Помимо опоры на одной из описанных ранее пластин установлен электродвигатель, обеспечивающий перемещение перечисленных ранее элементов конструкции. Данный электродвигатель фиксируется при помощи втулки и кронштейна, соединяющих его посредством винтов с цилиндрической головкой и шестигранным углублением под ключ с пластиной.

Таким же образом происходит перемещение устройства подачи воды и чистящих средств, как показано на рисунке 22.

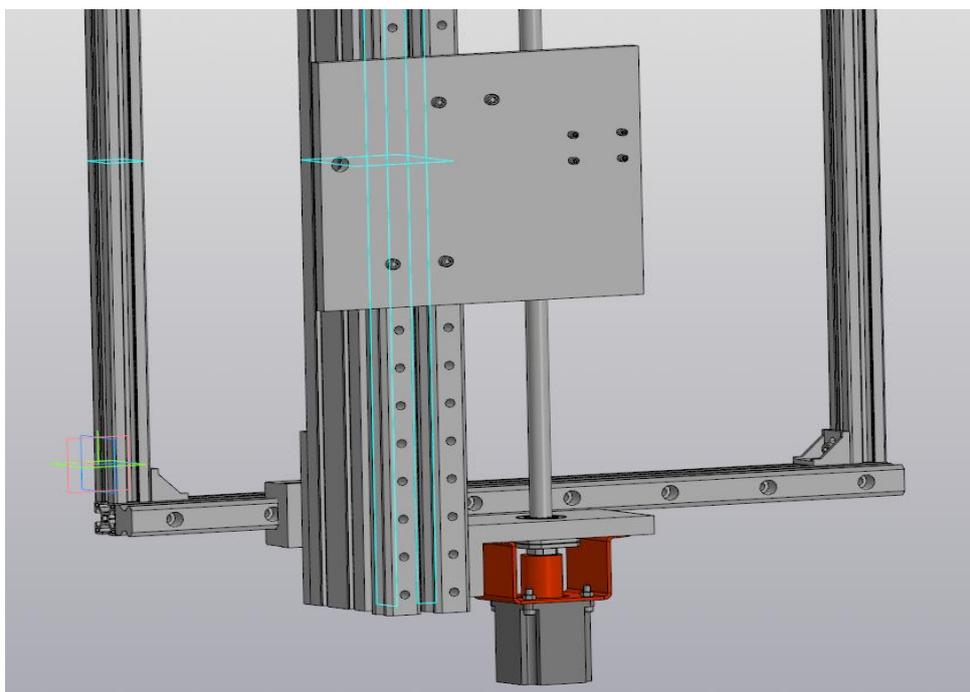


Рисунок 22 – Угловая пластина

Угловая пластина устанавливается на 3д профиле, который в свою очередь установлен на каретках. Через пластины и специальные

фиксирующие опоры проходит винт, обеспечивающий перемещение кареток и пластины, предназначенной для установки устройства подачи воды или чистящих средств. Также на одной из угловых пластин установлен электродвигатель, обеспечивающий описанные ранее перемещения элементов конструкции. Устанавливается данный электродвигатель при помощи втулки и кронштейна, соединяющих его посредством винтов с цилиндрической головкой и шестигранным углублением под ключ с пластиной. Посредством описанного электродвигателя обеспечивается перемещение пластины, предназначенной для установки устройства для подачи воды или чистящих средств, что показано на рисунке 23.

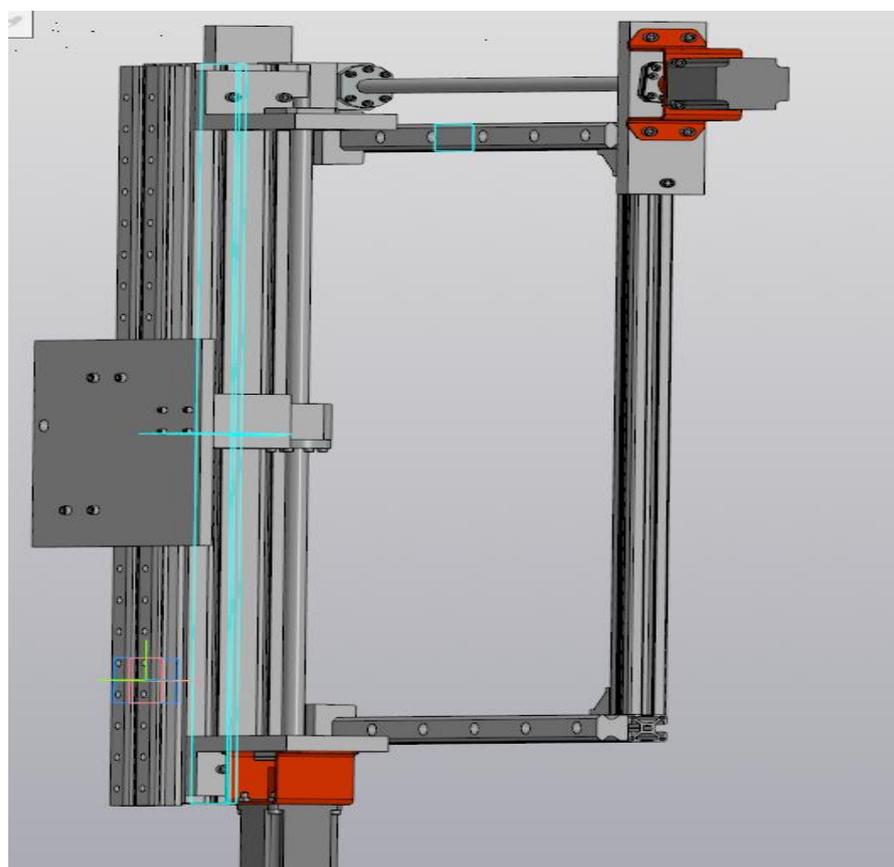


Рисунок 23 – Принцип соединения пластины с гайкой

На рисунке 23 показан более подробно принцип соединения пластины для устройства с гайкой. Специальная пластина для устройства подачи воды

или чистящих средств устанавливается на расположенные на 3д профиле каретки и соединенные гайку с держателем гайки. Последнее соединение происходит при помощи установленной между гайкой и специальной пластиной другой пластины. Установленная пластина с устройством подачи воды или чистящих средств перемещается посредством кареток по 3д профилю и гайки с держателем по винту вверх и вниз, что позволяет осуществить полноценную очистку всех отверстий трубок теплообменного аппарата.

На рисунке 24 изображен вид готовой конструкции сзади.

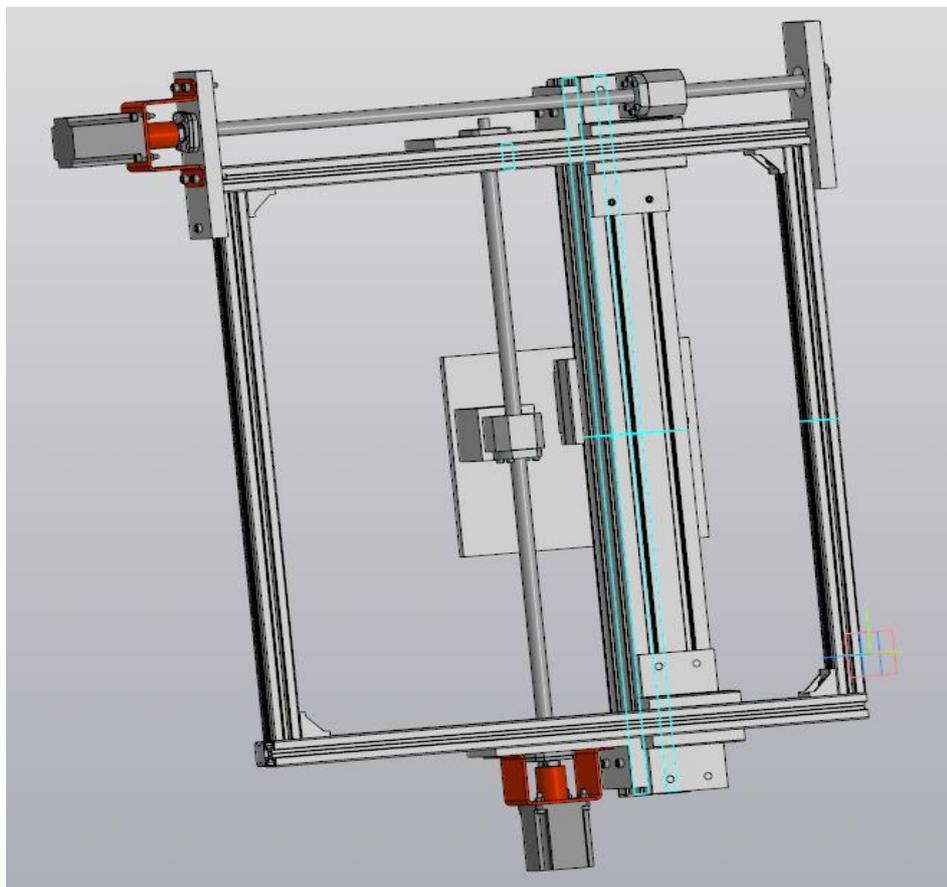


Рисунок 24 – Вид готовой конструкции сзади

На рисунке 24 изображен вид готовой конструкции сзади, что позволяет наиболее точно рассмотреть описанные ранее соединения

элементов конструкции, отвечающих за перемещения устройства подачи воды или чистящих средств, со специальными пластинами.

Спроектирована конечная модель компоновочного решения автоматической установки для очистки внутренней полости теплообменника от накипи с помощью средств САД-моделирования. Новизной компоновочного решения автоматической установки для очистки внутренней полости теплообменных аппаратов является её состав из доступных типовых и нормализованных конструктивных элементов, подобранных при помощи каталога PureLogic. Предложенная конструкция для очистки теплообменных агрегатов позволит осуществлять очистные работы внутренних полостей теплообменных аппаратов без демонтажа несущих элементов теплообменников из тепловых сетей, и без вмешательства человека, что также позволит значительно сократить время, отведенное для процедуры очистки теплообменных аппаратов. Возможность автоматизации работы установки позволит при помощи систем числового программного управления (ЧПУ) организовать разные по типу алгоритмов циклы очистки, содержание операций которых может быть выбрано исходя из типа, размеров, и протяженности рабочих секций теплообменных агрегатов промышленного назначения.

Таким образом, определен метод для очистки внутренней полости теплообменных аппаратов – гидродинамический метод, который в данном случае не будет требовать полной разборки теплообменного аппарата, поскольку спроектированная конечная автоматическая установка для очистки внутренней полости теплообменных аппаратов, подающая воду или чистящие средства в каждое отверстие трубки теплообменного аппарата, т.е. в самую внутреннюю полость, позволяет обеспечить тщательную очистку внутренней полости агрегатов без полной разборки, что в свою очередь означает выполнение нескольких из поставленных ранее задач данной работы, а конкретнее – выбор метода для очистки теплообменных аппаратов и проектирование конструкции автоматической установки для очистки.

Глава 3 Расчет кожухотрубчатого теплообменника

3.1 Исходные данные

Для удобства был выбран теплообменный аппарат ГОСТ 15122-79, изображенный на рисунке 25.

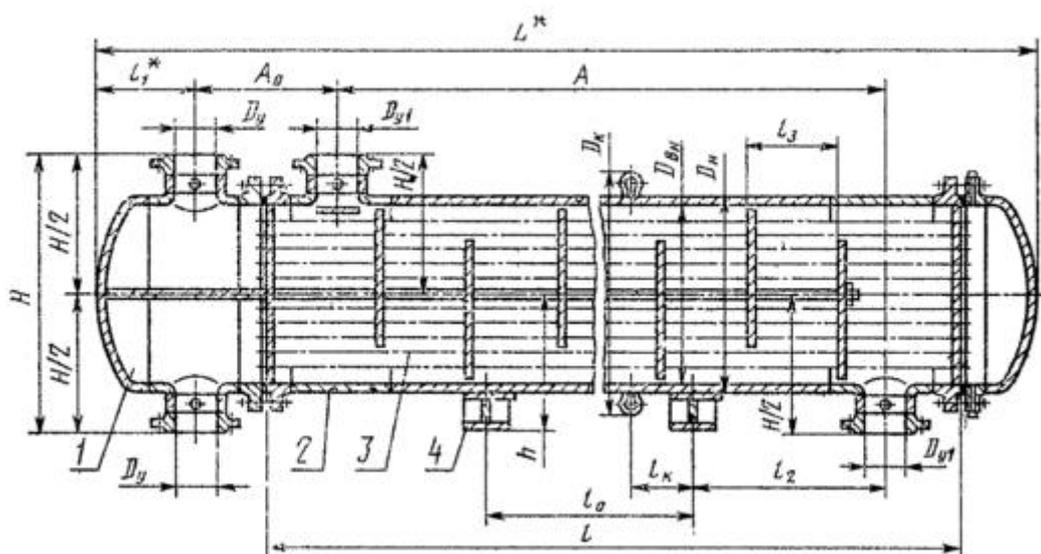


Рисунок 25 – Теплообменный аппарат

Разработка автоматической установки, все конструктивные решения, а также все последующие расчеты были сделаны на основе конструкции, габаритов и характеристик выбранного теплообменного аппарата.

«Кожухотрубчатые теплообменники относятся к наиболее распространенным аппаратам. Их применяют для теплообмена и термохимических процессов между различными жидкостями, парами и газами как без изменения, так и с изменением их агрегатного состояния. Кожух, т.е. корпус, кожухотрубчатого теплообменника представляет собой трубу, сваренную из одного или нескольких стальных листов. Кожухи различаются главным образом способом соединения с трубной доской и

крышками. Толщина стенки кожуха определяется давлением рабочей среды и его диаметром, но принимается не менее 4 мм. К его цилиндрическим кромкам приваривают фланцы для соединения с крышками или днищами. На наружной поверхности кожуха прикрепляют опоры аппарата»[8].

«Трубчатка кожухотрубчатых теплообменников выполняется из прямых или изогнутых, т.е. U-образных или W-образных, труб диаметром от 12 до 57 мм. Предпочтительны стальные бесшовные трубы»[8].

«В кожухотрубчатых теплообменниках проходное сечение межтрубного пространства в 2-3 раза больше проходного сечения внутри труб. Поэтому при равных расходах теплоносителей с одинаковым фазовым состоянием коэффициенты теплоотдачи на поверхности межтрубного пространства невысоки, что снижает общий коэффициент теплопередачи в аппарате. Устройство перегородок в межтрубном пространстве такого теплообменника способствует увеличению скорости теплоносителя и повышению эффективности теплообмена»[8].

«Трубные доски, т.е. решетки, служат для закрепления в них пучка труб при помощи развальцовки, разбортовки, заварки, запайки или сальниковых креплений. Материалом досок служит обычно листовая сталь толщиной не менее 20 мм»[8].

«В парожидкостных теплообменниках пар проходит обычно в межтрубном пространстве, а жидкость — по трубам. Разность температур стенки корпуса и труб обычно значительна. Для компенсации разности тепловых удлинений между кожухом и трубами устанавливают линзовые, сальниковые или сильфонные компенсаторы»[8].

«Трубы в решетках обычно равномерно размещают по периметрам правильных шестиугольников, т. е. по вершинам равносторонних треугольников, реже применяют размещение труб по концентрическим окружностям. В отдельных случаях, когда необходимо обеспечить удобную очистку наружной поверхности труб, их размещают по периметрам прямоугольников. Все указанные способы размещения труб преследуют одну

цель — обеспечить более компактное размещение необходимой поверхности теплообмена внутри аппарата. В большинстве случаев наибольшая компактность достигается при размещении трубок по периметрам правильных шестиугольников»[8].

«Для увеличения скорости движения теплоносителей с целью интенсификации теплообмена нередко устанавливают перегородки как в трубном, так и в межтрубном пространствах»[8].

Для дальнейшей работы необходимо провести ряд расчетов. Для проведения самих расчетов сначала нужно обратиться к ГОСТу указанного ранее выбранного теплообменного аппарата, т.е. ГОСТ 15122-79, с целью определения исходных данных для ряда последующих расчетов.

Исходные данные для расчетов:

- $P_B = 0,149$ МПа - давление воды;
- $t'_B = 25$ °С - температура воды на входе;
- $t''_B = 89$ °С - температура воды на выходе;
- $G_B = 223$ м³/ч - расход воды;
- $P_{II} = 0,59$ МПа - давление греющего пара;
- $t_{II} = 205$ °С - температура греющего пара.

3.2 Тепловой расчет подогревателя

Расчет теплообменника выполним по рекомендациям источника [8].

Согласно методике сначала необходимо выполнить расчет средней температуры воды по формуле (1):

$$t_B = 0,5 (t' + t''_B), \quad (1)$$

где t'_B – температура воды на входе в подогреватель; t''_B – температура воды на выходе из подогревателя.

Средняя температуры воды по формуле (1) составляет:

$$t_B = 0,5(25 + 89) = 57 \text{ }^\circ\text{C}$$

Средняя температура пара:

$$t_{п.ср} = 0,5 \cdot (t_{п} + t_s), \quad (2)$$

где $t_{п}$ – температура перегретого пара, $^\circ\text{C}$; t_s – температура насыщенного пара, $^\circ\text{C}$.

$$t_{п.ср} = 0,5 \cdot (205 + 156,04) = 180,52 \text{ }^\circ\text{C}$$

Справочные данные, принятые при значении $t_{в.ср}$:

- $c_B = 4,177 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ - теплоемкость воды;
- $\rho_B = 985,15 \text{ кг}/\text{м}^3$ - плотность воды;
- $V_B = 0,515 \text{ м}^2/\text{с}$ - коэффициент кинематической вязкости воды;
- $\lambda_B = 0,653 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ - коэффициент теплопроводности воды;
- $Pr_B = 3,23$ - число Прандтля для воды;
- $c_{п} = 2,709 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ - теплоемкость пара;
- $\rho_{п} = 5,157 \text{ кг}/\text{м}^3$ - плотность пара;
- $V_{п} = 2,93 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ - коэффициент кинематической вязкости пара;
- $\lambda_{п} = 0,03268 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ - коэффициент теплопроводности пара;
- $Pr_{п} = 1,25$ - число Прандтля для пара.

Количество теплоты, передаваемой паром воде:

$$Q = G_B \cdot \rho_B \cdot c_B (t_B' - t_B'') \quad (3)$$

где, G_B - объемный расход воды, м³/с; c_B — теплоемкость воды, кДж/(кг·°С).

$$Q = 0,062 \cdot 985,15 \cdot 4,177 \cdot (89 - 25) = 16328,207 \text{ кВт}$$

Количество теплоты, передаваемой паром воде в 1-й зоне

$$Q_1 = D_{\Pi} C_{\Pi} (t_{\Pi} - t_s), \quad (4)$$

где C_{Π} — теплоемкость пара, кДж/(кг·°С); D_{Π} — массовый расход пара кг/с

$$D_{\Pi} = \frac{Q}{c_{\Pi}(t_{\Pi} - t_s) + r}, \quad (5)$$

где r — теплота парообразования пара, кДж/кг.

$$D_{\Pi} = \frac{16328,207}{4,177(205 - 156,04) + 2047,8} = 7,25 \text{ кг/с,}$$

$$Q_1 = 7,25 \cdot 4,177 \cdot (205 - 156,04) = 1482,66 \text{ кВт}$$

Количество теплоты, кВт, передаваемой паром воде во 2-й зоне:

$$Q_2 = D_{\Pi} \cdot r = 7,25 \cdot 2047,8 = 14846,55 \text{ кВт}$$

Суммарное значение переданной теплоты паром воде:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 1482,66 + 14846,55 = 16329,21 \text{ кВт}$$

Исходные данные для последующих расчетов:

$d_{\text{нар}} = 25$ мм - наружный диаметр трубок;

$\omega_B=2,8$ м/с - скорость воды в трубках;

$\delta_{ст}=2$ мм - толщина трубок;

$\lambda_{ст}=39$ Вт/(м·°С) - коэффициент теплопроводности.

Режим течения воды в трубках:

$$Re = \frac{\omega_B d_{BH}}{\nu_B},$$

где Re — критерий Рейнольдса; ω_B — скорость воды в трубках, м/с;

d_{BH} — внутренний диаметр трубок, м; ν_B — коэффициент кинематической вязкости воды, м²/с.

$$Re = \frac{2,8 \cdot 36}{0,525 \cdot 10^{-6}} = 192000000$$

Критерий Нуссельта для турбулентного режима течения:

$$N_{уж} = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot \epsilon l,$$

где Pr — число Прандтля для воды; ϵl — поправочный коэффициент.

$$N_{уж} = 0,023 \cdot 192000000^{0,8} \cdot 3,23^{0,4} \cdot 1 = 155614,41$$

Коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности стенки трубки к воде:

$$\alpha_{ж} = \frac{Nu_{ж} \lambda_{ж}}{d_{BH}}, \quad (10)$$

где $\lambda_{ж}$ — коэффициент теплопроводности воды, Вт/(м·°С).

$$\alpha_{ж} = \frac{155614,41 \cdot 0,652}{23} = 2818,35 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)},$$

Количество трубок в трубной решетке:

$$n = \frac{4G_B}{\pi d_{BH}^2 \cdot \omega} = \frac{4 \cdot 0,062}{3,14 \cdot 23^2 \cdot 2,8} = 21,765 \text{ шт.}$$

Диаметр трубной решетки:

$$d_{тр} = \left(\frac{d_{тр}}{t} \right) t, \quad (12)$$

где t - шаг между трубками; $\frac{d_{тр}}{t}$ - относительный диаметр трубной решетки, мм.

$$d_{тр} = 16 \cdot 32 = 512 \text{ мм}$$

Внутренний диаметр корпуса аппарата:

$$D_{a.вн} = d_{тр} + d_{нар} + 2k = 512 + 25 + 20 = 557 \text{ мм}$$

При ромбическом расположении труб число шестиугольников для размещения труб определяется:

$$m = \frac{\sqrt{12n-3}}{6} - 0,5 = \frac{\sqrt{12 \cdot 241 - 3}}{6} - 0,5 = 9 \text{ шт.}$$

Число труб по диагонали наибольшего шестиугольника:

$$l = 2m + 1 = 2 \cdot 9 + 1 = 19 \text{ шт.}$$

Поверхность теплообмена в 1-й зоне. площадь межтрубного пространства для прохода пара:

$$f_{мп} = \frac{\pi}{4} \left(D_{a.вн}^2 - n d_{нар}^2 \right) = \frac{3,14}{4} (0,6^2 - 241 \cdot 0,025^2) = 0,16 \text{ м}^2$$

Скорость пара в межтрубном пространстве:

$$\omega_{п} = \frac{D_{п}}{f_{мп} \rho_{п}}, \quad (17)$$

где D_{π} — массовый расход пара, кг/с; ρ_{π} — плотность пара, кг/м³.

$$\omega_{\pi} = \frac{7.25}{0,16 \cdot 5,157} = 8.78 \text{ м/с}$$

Критерий Рейнольдса для пара:

$$Re = \frac{\omega_{\pi} d_{\text{э}}}{\nu_{\pi}}, \quad (18)$$

где $d_{\text{э}}$ — эквивалентный диаметр, м.

$$d_{\text{э}} = \frac{4f_{\text{мп}}}{U}, \quad (19)$$

где U — смоченный периметр, м.

$$U = \pi (D_{\text{авн}} + nd_{\text{нап}}) = 3,14(0,6 + 241 \cdot 0,025) = 20,8 \text{ м}$$

$$d_{\text{э}} = \frac{4 \cdot 0,16}{20,8} = 0,0308 \text{ м,}$$

$$Re = \frac{8,78 \cdot 0,0308}{2,93 \cdot 10^{-6}} = 92294,88$$

Критерий Нуссельта:

$$N_{\text{уж}} = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} = 0,023 \cdot 92294,88^{0,8} \cdot 1,25^{0,4} = 235,85$$

Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке трубки:

$$\alpha_{\pi} = \frac{Nu_{\pi} \lambda_{\pi}}{d_{\text{э}}}, \quad (21)$$

где λ_{π} — коэффициент теплопроводности пара, Вт/(м·°С).

$$\alpha_{\Pi} = \frac{235,85 \cdot 0,03268}{0,0308} = 250,246 \text{ Вт / (м} \cdot \text{°C)}$$

Коэффициент теплопередачи в 1-й зоне:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{ж}}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda} + R_{\text{нак}} + \frac{1}{\alpha_{\Pi}}}, \quad (22)$$

где $R_{\text{нак}}$ — термическое сопротивление накипи, м²·°C/Вт.

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{2818,35} + \frac{0,002}{39} + 0,00033 + \frac{1}{250,246}} = 211,3 \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{°C)}$$

Температурный напор в 1-й зоне:

$$\Delta t_1 = \frac{(t_{\Pi} - t'_B) - (t_S - t'''_B)}{\ln \frac{(t_{\Pi} - t'_B)}{(t_S - t'''_B)}}, \quad (23)$$

где t'''_B — температура воды на границе между зонами, °C.

$$t'''_B = t''_B - \frac{D_{\Pi} c_{\Pi} (t_{\Pi} - t_S)}{G_B c_B \rho_B} = 89 - \frac{7,25 \cdot 2,709 (205 - 156,04)}{0,062 \cdot 4,177 \cdot 985,15} = 85,23 \text{ °C}$$

$$\Delta t_1 = \frac{(205 - 25) - (156,04 - 85,23)}{\ln \frac{(205 - 25)}{(156,04 - 85,23)}} = 117,036 \text{ °C}$$

Поверхность теплообмена 1-й зоны:

$$F_1 = \frac{Q_1}{k_1 \Delta t_1} = \frac{1482,66}{211,32 \cdot 117,036} = 0,06 \text{ м}^2$$

Удельный тепловой поток от пара к стенке:

$$q_1 = 0,001 \frac{B'}{h_{\text{тр}}^{0,25}} \Delta t_1^{0,75} = 0,001 \frac{16410,81}{9^{0,25}} \cdot 117,036^{0,75} = 337,14 \text{ Вт/м}^2$$

«Поверхность теплообмена во 2-й зоне. Предполагают, что во 2-й зоне коэффициент теплоотдачи от внутренней стенки трубки к жидкости равен

коэффициенту теплоотдачи в 1-й зоне. Это допустимо, так как свойства воды во 2-й зоне мало отличаются от свойств воды в 1-й зоне. Коэффициент теплопередачи для 2-й зоны k_2 можно определить графоаналитическим методом. Для этого предварительно находят для различных участков перехода теплоты зависимость между удельным тепловым потоком q и перепадом температур Δt »[8].

«Коэффициент теплопередачи для 2-й зоны k_2 можно определить графоаналитическим методом. Для этого предварительно находят для различных участков перехода теплоты зависимость между удельным тепловым потоком q и перепадом температур Δt »[8].

«Задаются рядом значений Δt_1 и вычисляют соответствующие им величины $0,75 \Delta t$ и q_1 . По полученным данным, занесенным в таблицу 1, строят кривую $\Delta t_1 = f(q_1)$ »[8].

Таблица 1 – Данные для построения кривой $\Delta t_1 = f(q_1)$

Δt_1	10	20	30	40	50	60	70	80
$\Delta t_1^{0,75}$	5,6	9,5	12,8	15,9	18,8	21,6	24,2	26,7
q_1	34.5	51.27	64.11	75.44	85.54	94.93	103.37	111.3

Определяют плотность теплового потока через стенку, кВт/м²:

$$q_2 = 0,001 \frac{\lambda_c}{\delta_c} \Delta t_2, \quad (27)$$

где $\Delta t_2 = t_{c1} - t_{c2}$ – температурный перепад между стенками трубки, °С;
 t_{c2} – температура на внутренней поверхности стенки, °С.

Задавая значениями Δt_2 , вычисляют соответствующие им величины q_2 и строят кривую $\Delta t_2 = f(q_2)$ по значениям из таблицы 2.

Таблица 2 – Данные для построения кривой $\Delta t_2 = f(q_2)$

Δt_2	10	20	30	40	50	60	70	80
Q_2	195	390	585	780	975	1170	1365	1560

Удельный тепловой поток через накипь, кВт/м²:

$$q_3 = \frac{0,001}{R_{нак}} \Delta t_3, \quad (28)$$

Задаваясь значениями Δt_3 , вычисляют соответствующие им величины q_3 и строят кривую $\Delta t_3 = f(q_3)$ по значениям из таблицы 3.

Таблица 3 – Данные для построения кривой $\Delta t_3 = f(q_3)$

Δt_3	10	20	30	40	50	60	70	80
Q_3	33.33	66.66	100	133.3	166.6	200	233.33	266.6

Удельный тепловой поток от стенки к воде, кВт/м²:

$$q_4 = 0,001 \cdot \alpha_{ж} \cdot \Delta t_4, \quad (29)$$

где $\Delta t_4 = t_{нак} - t_в$ – температурный перепад между накипью и водой, °С.

Задаваясь значениями Δt_4 , вычисляют соответствующие им величины q_4 и строят кривую $\Delta t_4 = f(q_4)$ по значениям из таблицы 4.

Таблица 4 – Данные для построения кривой $\Delta t_4 = f(q_4)$

Δt_4	10	20	30	40	50	60	70	80
q_4	28.1835	56.367	84.5505	112.734	140.9175	169.101	197.2845	225.468

Средний температурный напор во 2-й зоне:

$$\Delta t_2 = \frac{(t_s - t'_B) - (t_s - t''_B)}{\ln \frac{(t_s - t'_B)}{(t_s - t''_B)}} = \frac{(156,04 - 25) - (156,04 - 85,23)}{\ln \frac{(156,04 - 25)}{(156,04 - 85,23)}} = 97,85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Средний удельный тепловой поток:

$$q_2 = 0,001 \frac{\lambda_c}{\delta_c} \Delta t_2 = 0,001 \frac{39}{0,002} \cdot 97,85 = 1908,075 \text{ кВт/м}^2$$

«Складывая ординаты четырех зависимостей, строят суммарную зависимость $\Sigma \Delta t$ от q , изображенную на рисунке 26»[8].

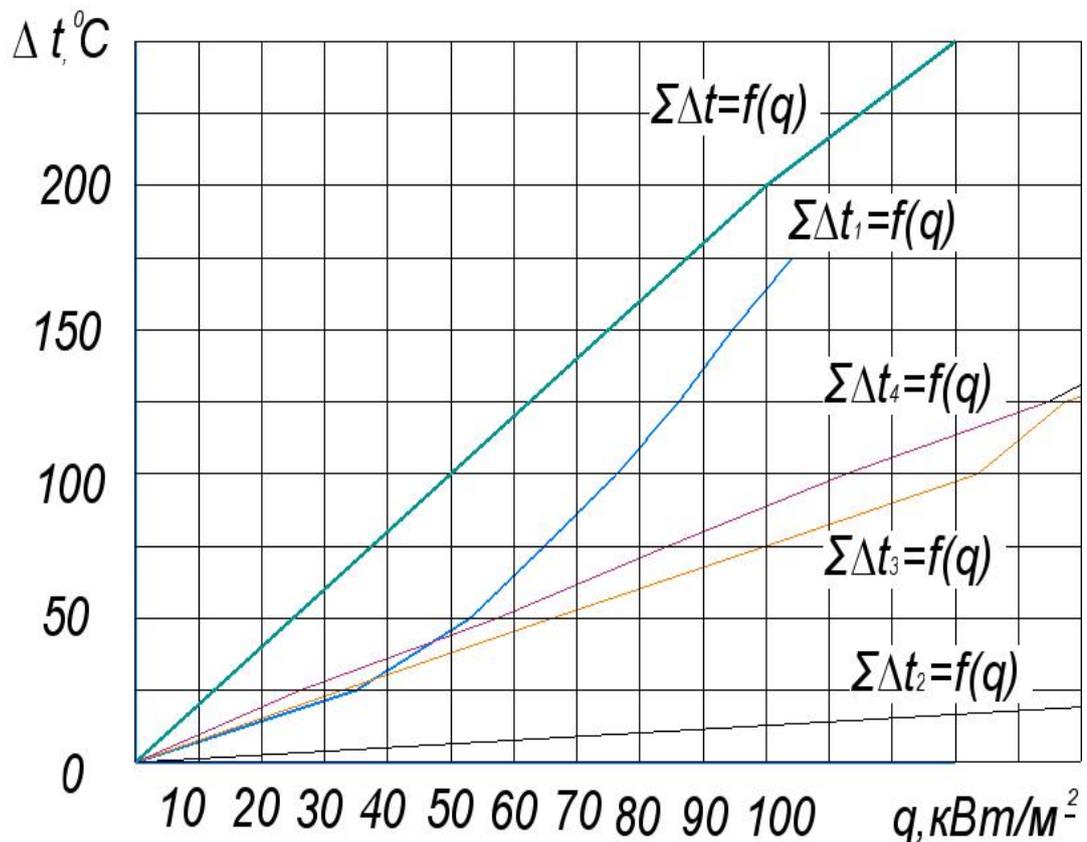


Рисунок 26 – Суммарная зависимость

«На оси ординат на рисунке 26 из точки, соответствующей Δt_2 , проводим прямую, параллельную оси абсцисс до пересечения с кривой $\Sigma \Delta t =$

f(q₄). Из точки пересечения опускаем перпендикуляр на ось абсцисс и находим фактическое значение удельного теплового потока q_{гр}, кВт/м²»[8].

Полная разность температур между теплоносителями:

$$\Sigma \Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4 = 74,36 + 5,6 + 32,4 + 41,5 = 204,26 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Графическое значение удельного потока:

$$q_{гр} = 100 \text{ кВт/м}^2.$$

Коэффициент теплопередачи во 2-й зоне:

$$k_2 = \frac{q_{гр}}{\Delta t_2} = \frac{105,53}{97,85} = 1,078 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

Поверхность теплообмена во 2-й зоне:

$$F_2 = \frac{Q_2}{q_{гр}} = \frac{14846,55}{105,53} = 140,68 \text{ м}^2$$

Суммарная поверхность теплообмена:

$$F = F_1 + F_2 = 0,06 + 140,68 = 140,74 \text{ м}^2$$

Общая длина трубок:

$$L = \frac{F}{\pi d_{cp} n}, \quad (3.36)$$

где d_{cp} – средний диаметр трубок.

$$L = \frac{140,74}{\pi \cdot 0,024 \cdot 241} = 85,8 \text{ м}$$

Число ходов подогревателя:

$$Z = \frac{L}{l_{тр}} = \frac{85,8}{9} = 9,53$$

Общее число трубок подогревателя:

$$n_{\text{тр}} = n \cdot Z = 241 \cdot 10 = 2410 \text{ шт.}$$

Внутренний диаметр корпуса аппарата:

$$D_{\text{а.вн}} = d_{\text{тр}} + d_{\text{нар}} + 2k = 512 + 25 + 20 = 557 \text{ мм}$$

Площадь межтрубного пространства без учета перегородок для прохода пара:

$$f_{\text{мп}} = \frac{\pi}{4} (D_{\text{а.вн}}^2 - nd_{\text{нар}}^2) = \frac{3,14}{4} (0,5^2 - 241 \cdot 0,025^2) = 0,078 \text{ м}^2$$

Коэффициент, учитывающий сужение живого сечения межтрубного пространства:

$$\varphi = \frac{1 - \frac{d_{\text{нар}}}{t}}{1 - 0,9 \left(\frac{d_{\text{нар}}}{t} \right)^2} = \frac{1 - \frac{0,025}{0,032}}{1 - 0,9 \left(\frac{0,025}{0,032} \right)^2} = 0,4853$$

Расстояние между сегментными перегородками:

$$l_c = \frac{f_{\text{мп}}}{D_{\text{а.вн}} \left(1 - \frac{d_{\text{нар}}}{t} \right)} = \frac{0,078}{0,5 \left(1 - \frac{0,025}{0,032} \right)} = 0,713 \text{ м}$$

Эквивалентная длина пути теплоносителя:

$$L_{\text{экр}} = l_c + D_{\text{а.вн}} - \frac{4}{3}b = 0,713 + 0,5 - \frac{4}{3} \cdot 0,1 = 1,0796 \text{ м}$$

Расстояние от края сегментной перегородки до корпуса аппарата:

$$b = D_{\text{а.вн}} (0,2 - 0,4) = 0,5(0,2 - 0,4) = 0,1 \text{ м}$$

Площадь живого сечения межтрубного пространства с учетом перегородок:

$$f_{\text{пр}} = \frac{f_{\text{мп}} l_c \varphi}{L_{\text{экр}}} = \frac{0,078 \cdot 0,713 \cdot 0,4853}{1,0796} = 0,0245 \text{ м}^2$$

Скорость пара в межтрубном пространстве:

$$\omega_{\pi} = \frac{D_{\pi}}{f_{np} \rho_{\pi}} = \frac{7,25}{0,024 \cdot 5,157} = 58,57 \text{ м/с},$$

где D_{π} — массовый расход пара, кг/с; ρ_{π} — плотность пара, кг/м³.

$$\omega_{\pi} = \frac{7,25}{0,024 \cdot 5,157} = 58,57 \text{ м/с}$$

Критерий Рейнольдса для пара:

$$R_E = \frac{\omega_{\pi} d_{\vartheta}}{\nu_{\pi}}, \quad (47)$$

где d_{ϑ} — эквивалентный диаметр, м:

$$d_{\vartheta} = \frac{4f_{np}}{U}, \quad (48)$$

где U — смоченный периметр.

$$U = \pi (D_{\text{а.вн}} + nd_{\text{нар}}) = 3,14(0,5 + 241 \cdot 0,025) = 20,48 \text{ м}$$

$$d_{\vartheta} = \frac{4 \cdot 0,024}{20,48} = 0,00468$$

$$R_E = \frac{58,57 \cdot 0,00164}{2,93 \cdot 10^{-6}} = 32783,2$$

Критерий Рейнольдса соответствует установившемуся турбулентному движению пара, поэтому критерий Нуссельта будет определен по формуле (49):

$$N_{\text{уж}} = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot \varepsilon l, \quad (49)$$

где Pr — число Прандтля для пара.

$$N_{\text{уж}} = 0,023 \cdot 32783,2^{0,8} \cdot 1,25^{0,4} = 103,041$$

Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке трубки по формуле (50):

$$\alpha_{\text{п}} = \frac{Nu_{\text{п}} \lambda_{\text{п}}}{d_3}, \quad (50)$$

где $\lambda_{\text{п}}$ — коэффициент теплопроводности пара, Вт/(м·°С).

$$\alpha_{\text{п}} = \frac{103,041 \cdot 2,93}{0,00468} = 64510,71 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$$

Коэффициент теплопередачи в 1-й зоне:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{ж}}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + R_{\text{нак}} + \frac{1}{\alpha_{\text{п}}}} = \frac{1}{\frac{1}{2818,35} + \frac{0,002}{39} + 0,00033 + \frac{1}{64510,71}} = 1330,5 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$$

Поверхность теплообмена 1-й зоны:

$$F_1 = \frac{Q_1}{k_1 \Delta t_1} = \frac{1482,66}{1330,5 \cdot 117,036} = 0,0095 \text{ м}^2$$

Суммарная поверхность теплообмена

$$F = F_1 + F_2 = 0,0095 + 140,68 = 140,6895 \text{ м}^2$$

Длина трубок в одном ходу:

$$h_{\text{тр}} = \frac{F}{\pi \cdot d_{\text{ср}} \cdot n_{\text{тр}}} = \frac{140,6895}{\pi \cdot 0,024 \cdot 2410} = 0,774 \text{ м}$$

3.3 Гидравлический расчет кожухотрубчатого теплообменника

Гидравлические потери на трение в каналах при продольном омывании пучка труб теплообменного аппарата по формуле (55):

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \frac{L \omega^2 \rho}{d_3^2}, \quad (55)$$

Коэффициент сопротивления трения для чистых трубок:

$$\lambda_{тр} = \frac{1}{(1,8 \cdot \ln Re_{ж} - 1,5)^2} = \frac{1}{(1,8 \cdot \ln 192000000 - 1,5)^2} = 0,000927$$

$$\Delta P_{тр} = 0,000927 \frac{2 \cdot 2,8^2 \cdot 985,15}{0,023 \cdot 2} = 311,3$$

Гидравлические потери давления, Па, в местных сопротивлениях:

$$\Delta P_M = \varepsilon \frac{\omega^2 \rho}{2} = 1,5 \frac{2,8^2 \cdot 985,15}{2} = 5792,682 \text{ Па}$$

Полный напор, необходимый для движения воды через аппарат:

$$\Delta P = \Delta P_{тр} + \Delta P_M = 311,3 + 5792,682 = 6103,982 \text{ Па}$$

Мощность, необходимая для перемещения воды через подогреватель:

$$N = \frac{G_B \Delta P}{1000 \eta}, \quad (59)$$

где $\eta = 0,85$ — коэффициент полезного действия насоса.

$$N = \frac{0,062 \cdot 6103,982}{1000 \cdot 0,85} = 0,445 \text{ кВт}$$

Площадь сечения патрубка:

$$F_{пат}^B = \frac{G_B}{\omega_B} = \frac{0,062}{2,8} = 0,022 \text{ м}^2$$

Диаметр патрубка:

$$d_{пат}^B = \sqrt{\frac{4F_{пат}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,022}{\pi}} = 0,1674 \text{ м}$$

Площадь сечения патрубка:

$$F_{пат}^П = \frac{D_{п}}{\omega_{п} \rho_{п}}, \quad (62)$$

где $\rho_{п}$ — плотность пара при средней температуре пара, кг/м³, $D_{п}$ — массовый расход пара, кг/с.

$$F_{пат}^{\Pi} = \frac{7,25}{35 \cdot 5,157} = 0,04 \text{ м}^2$$

Диаметр входного патрубка для ввода пара:

$$d_{пат}^{\Pi} = \sqrt{\frac{4F_{пат}^{\Pi}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,04}{\pi}} = 0,225 \text{ м}$$

Площадь сечения патрубка:

$$F_{пат}^K = \frac{D_{\Pi}}{\omega_K \rho_K} = \frac{7,25}{35 \cdot 3,116} = 0,066 \text{ м}^2$$

Диаметр патрубка для выхода конденсата:

$$d_{пат}^K = \sqrt{\frac{4F_{пат}^K}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,066}{\pi}} = 0,3 \text{ м}$$

Расход воздуха:

$$G_{воз} = 0,05D_{\Pi} = 0,05 \cdot 7,25 = 0,3625 \text{ кг/с}$$

Площадь сечения патрубка:

$$F_{пат}^{воз} = \frac{G_{воз}}{\omega_{воз} \rho_{воз}} = \frac{0,3625}{8 \cdot 0,779} = 0,058 \text{ м}^2$$

Диаметр патрубка для откачки воздуха:

$$d_{пат}^{воз} = \sqrt{\frac{4F_{пат}^{воз}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,058}{\pi}} = 0,27 \text{ м}$$

Был проведен ряд расчетов, в ходе которых были вычислены значения гидравлического расчета кожухотрубчатого теплообменника, теплового расчета подогревателя и другие необходимые значения.

Вышеперечисленные значения и другие результаты расчетов, проведенных в предыдущих разделах, будут использованы в дальнейшей

работе, поскольку позволят подобрать необходимое оборудование, а также провести ряд необходимых расчетов и экспериментов, которые будут указаны в следующих разделах.

Глава 4 Статический анализ автоматической установки

4.1 Расчет силовых факторов

В работе, как говорилось ранее, рассматривается возможность использования автоматической установки по очистке промышленных теплообменников, выполненной в виде «рамки» и прикрепляющейся к теплообменнику при помощи отверстий. Использование предложенной конструкции подразумевает объединение химического и механического методов очистки. Химические чистящие средства или смесь воды с воздухом поступают по специально установленным трубкам, расположенным в теплообменнике. Сама же подача воды или химических чистящих средств в трубки осуществляется при помощи 3 д профиля, на котором в будущем будет установлено устройство подачи, а также кареткам, на которых установлен сам профиль и которые отвечают за его перемещение по направляющим.

Сила подачи воды и химических средств может деформировать конструкцию, поэтому в данной работе проведены расчеты параметров жесткости установки, а также определения ее устойчивости к силовым смещениям.

Разработана в среде Компас-3D параметрическая модель автоматической установки по очистке промышленных теплообменников. Цель последующих расчетов – получение необходимых параметров жесткости установки, а также определения ее устойчивости к силовым смещениям.

Для проведения расчетов модель автоматической установки была конвертирована в среду моделирования пакета ANSYS.

Для проведения дальнейших расчетов была построена сетка конечных элементов при помощи команды Mesh, что показано на рисунке 27.

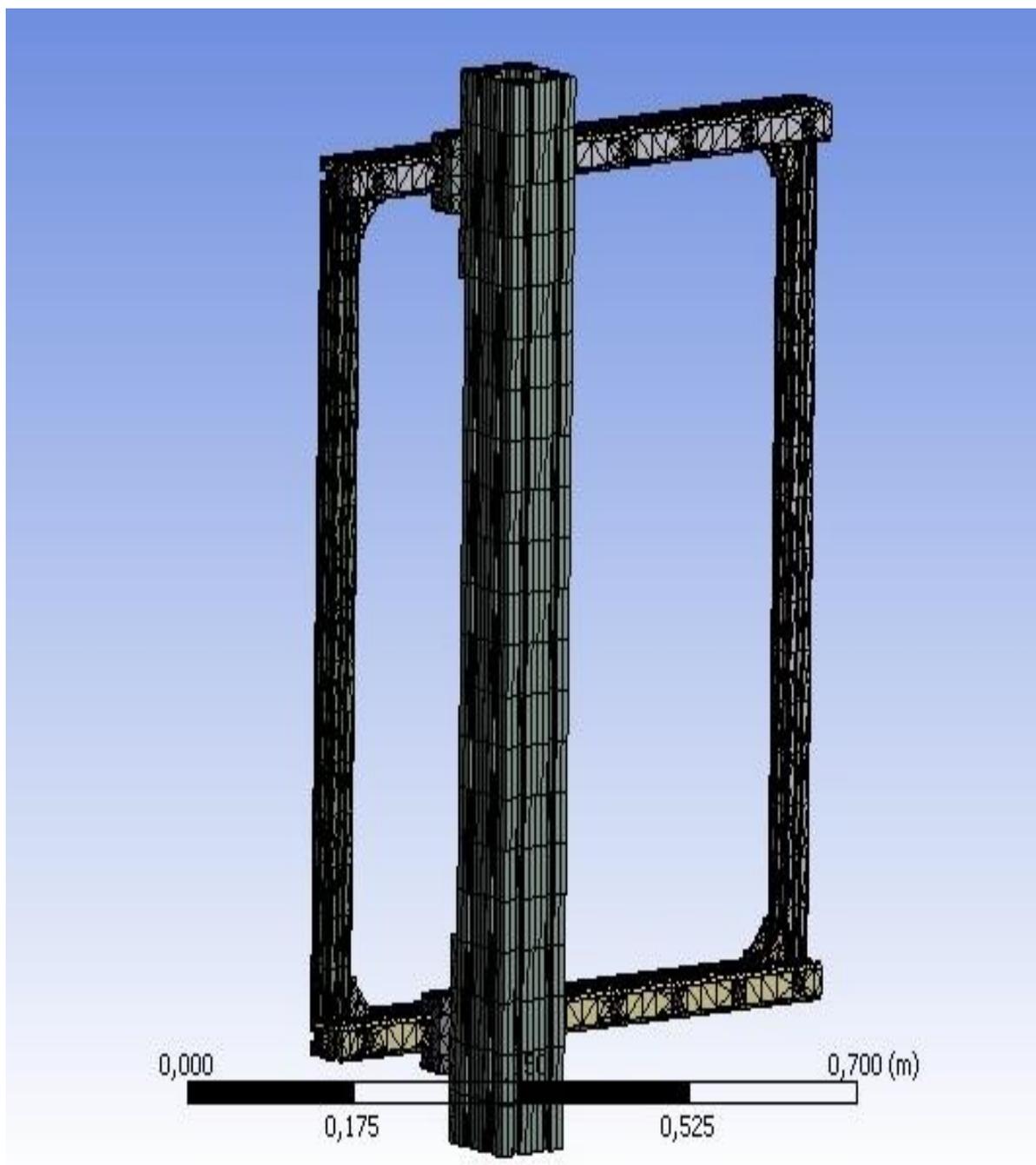


Рисунок 27 - Сетка конечных элементов

Для дальнейших расчетов были заданы условия закрепления. Закрепление в ANSYS делается при помощи команды `Fixed support`, результатом применения которой является ограничение всех степеней свободы выбранных вершин, ребер, поверхностей, чтобы предотвратить смещение. На рисунке 28 показано использование `Fixed support`, а именно –

ограничения были применены к образующим раму 3 д профилям, эти поверхности должны быть закреплены, поэтому их смещение недопустимо.

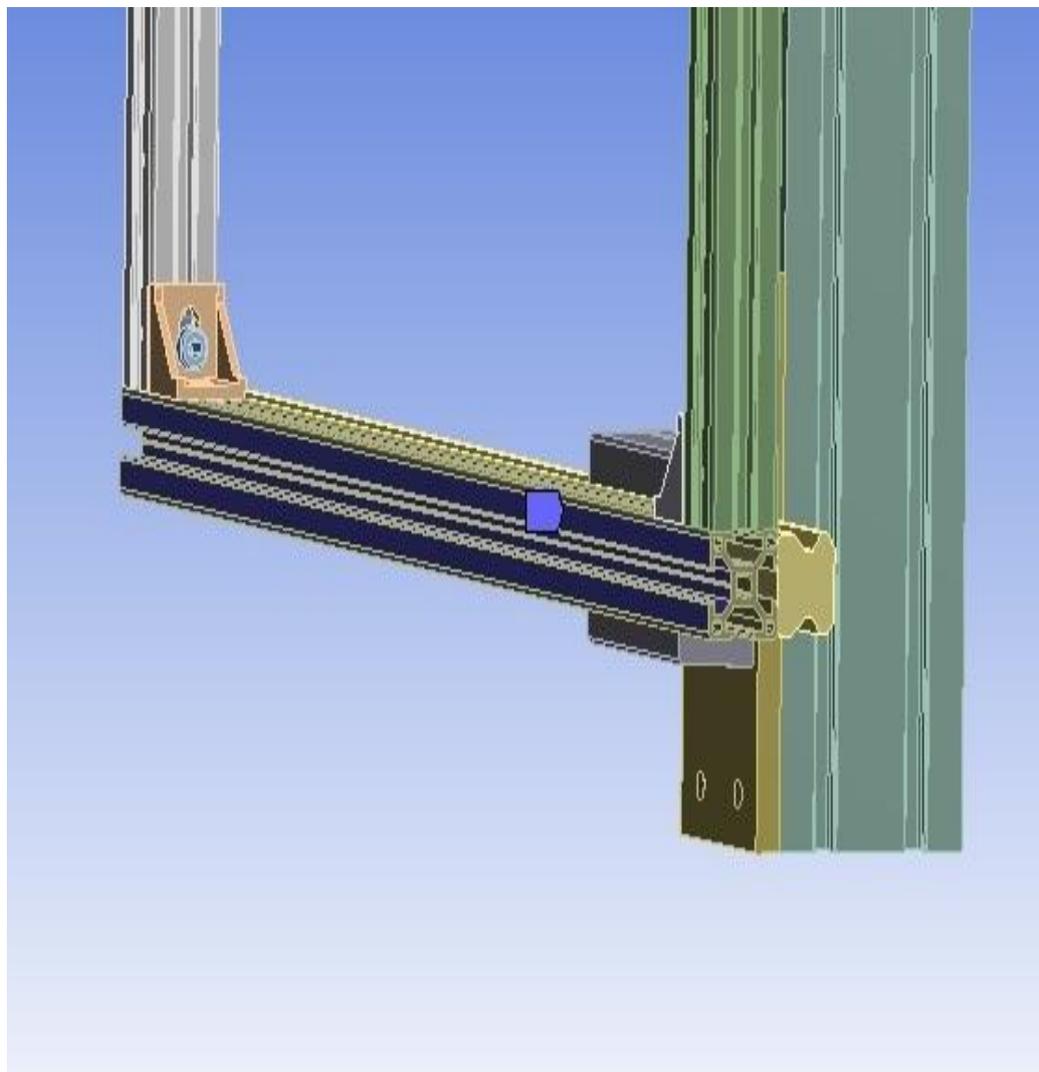


Рисунок 28 – Fixed support

Для вычисления необходимых параметров жесткости установки и определения ее устойчивости к силовым смещениям была использована команда Force, т.е. приложена сила, равная 500 Н. Данное значение обусловлено выбранной для расчетов маркой теплообменного аппарата – ГОСТ 15122-79, поскольку именно с этой силой происходит подача воды в нем. Сила прикладывается к направляющим и 3 д профилю,

передвигающемся по направляющим, поскольку именно на нем будет размещено устройство подачи воды, что показано на рисунке 29.

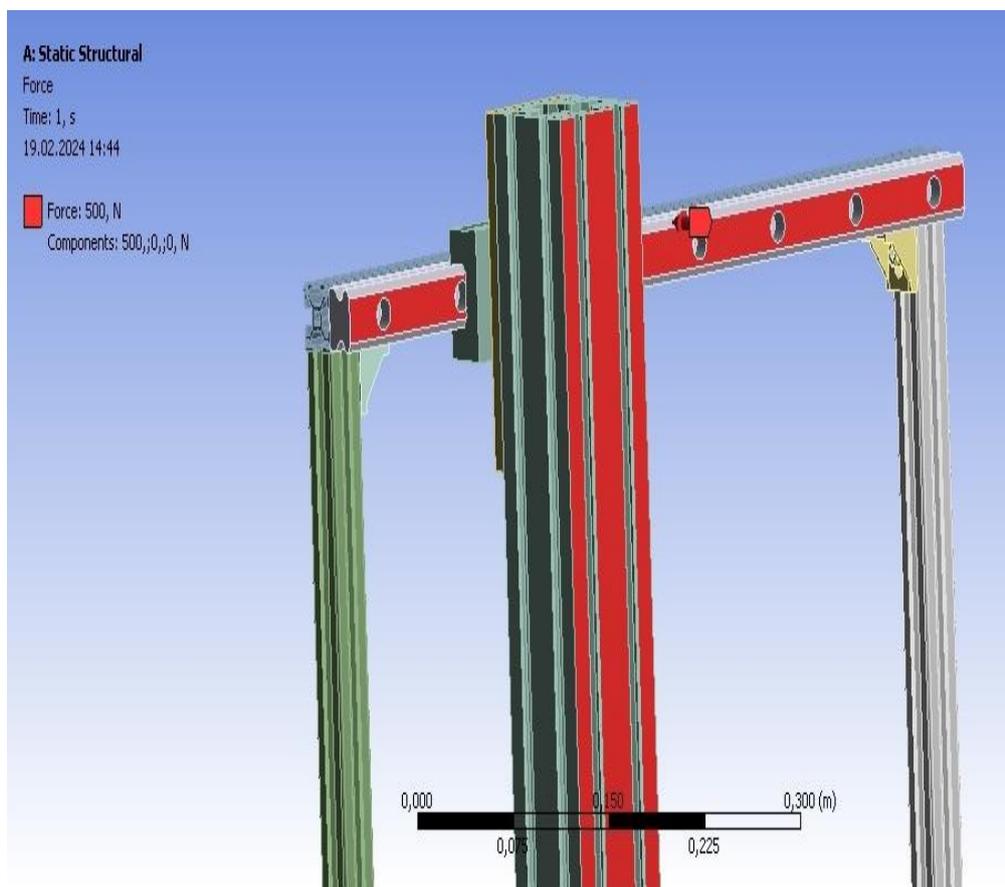


Рисунок 29 – Force

Полученный результат в дальнейшем будет использован в дальнейшем эксперименте, а именно – для вычисления необходимых параметров жесткости установки и определения ее устойчивости к силовым смещениям.

4.2 Расчет эквивалентных силовых смещений

Большинство проектируемых деталей сегодня испытывают широкий диапазон условий нагружения от растяжения и сжатия до сдвига, изгиба и кручения, все из которых приводят к сложному напряженному состоянию, которое всесторонне описывается тензором три на три. В результате

получается девять различных значений, которые необходимо просмотреть для каждой части. Для этого нужно воспользоваться программой Equivalent Stress, поскольку она объединяет эти девять значений в одно эквивалентное значение стресса.

В результате расчета, показанном на рисунке 30, было получено максимальное значение деформации, равное 0,00027801 м. значение не является критичным для установки, в особенности с учетом ее размеров. Также отмечено, что большая часть деформации приходится на верхнюю часть установки – каретку и, частично, профиль с направляющей.

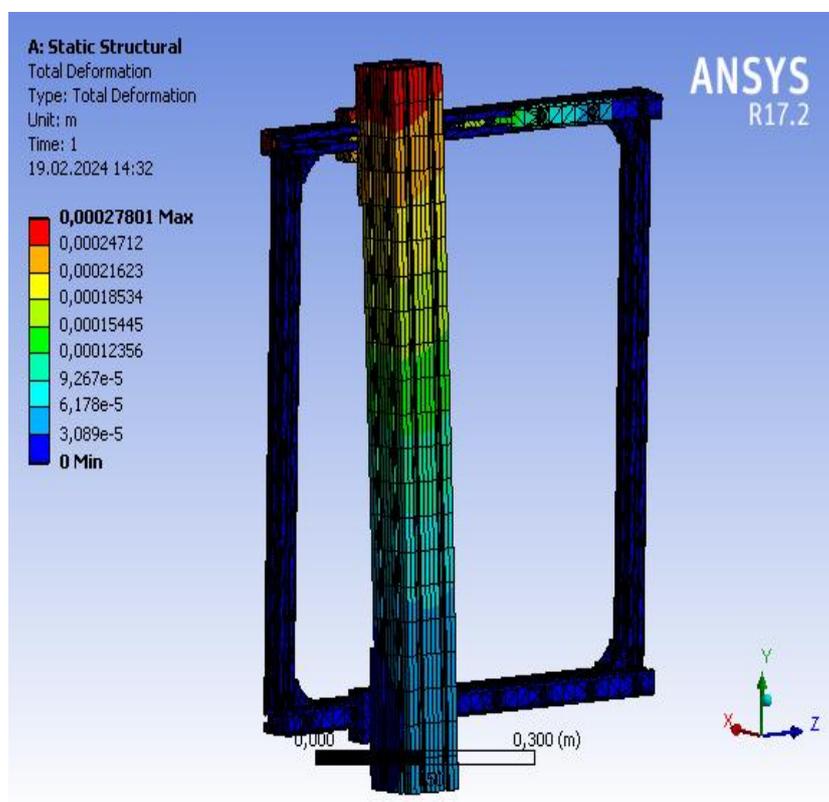


Рисунок 30 - Total Deformation

Максимальное значение деформации, полученное в результате расчета Static Structural, не влияет на функционал автоматической установки, поскольку является незначительным. Что в свою очередь говорит о надежности конструкции.

Глава 5 Программирование вычислений силовых характеристик автоматической установки

5.1 Разработка программы на языке Python

На языке Python написана программа, которая по формуле высчитывает силу F по заданным значениям диаметра d и давления P .

Выводится формула для вычисления силы F :

$$F = \frac{4P}{\pi \cdot (0,025)^2} = \frac{4 \cdot 0,240}{\pi \cdot (0,025)^2} = 488,92 \approx 500,$$

где $d_{\text{нар}}=0,025$ м – наружный диаметр трубки.

Для проведения дальнейших расчетов был использован общедоступный сайт replit.com.

Текст программы приведен ниже

Листинг

```
def calculate_force(d, P):  
    F = (4 * P) / (3,14 * d * d)  
    return F  
  
d = float(input("Введите значение диаметра: "))  
P = float(input("Введите значение давления: "))  
  
result = calculate_force(d, P)  
print("Сила F равна:", result)
```

Дальнейший алгоритм действий прост: запускается команда Run для написанной программы, задаются необходимые значения диаметра `d` и давления `P`, и программа считает и выводит значение силы `F` по заданным значениям.

Для запуска также использовался общедоступный сайт replit.com.

Полученный результат можно увидеть на рисунке 31:

```
main.py x +
main.py > f calculate_force > ...
2 F = (4 * P) / (3.14 * d * d)
3 return F
4
5 def calculate_pressure(F, d):
6     d = float(input("Введите значение диаметра: "))
7     P = float(input("Введите значение давления: "))
8
9     result = calculate_force(d, P)
10    print("Сила F равна:", result)
```

Console output for three runs:

- Run 1: Введите значение диаметра: 20, Введите значение давления: 1.6, Сила F равна: 0.005095541401273886
- Run 2: Введите значение диаметра: 25, Введите значение давления: 2.5, Сила F равна: 0.005095541401273885
- Run 3: Введите значение диаметра: 30, Введите значение давления: 4.0, Сила F равна: 0.005661712668082095

Рисунок 31– Результаты расчетов

По рисунку видно, что программа работает исправно, не имеет синтаксических ошибок и не выдает ошибок переменных при расчете.

Полученные значения позволяют после выполнения расчета получить сетки значений силы рабочей жидкости в зависимости от параметров трубки теплообменника. И таким образом выполнить прочностной расчет модели установки, откорректировать ее конструкцию, выбрать необходимые конструктивные элементы из каталога и рационально решить задачи проектирования.

5.2 Результаты расчетов

Полученные в ходе расчетов программы значения сводятся в таблицу 5:

Таблица 5 – Результаты расчетов программы

Диаметр, мм	Давление, МПа				
	1,6	2,5	4	5,5	7
	Сила, Н				
20	5095,51	7961,783	12738,85	17515,92	22292,99
25	3261,146	5095,541	8152,866	11210,19	14267,52
30	2264,685	3538,57	5661,713	7784,855	9907,997
35	1663,85	2599,766	4159,626	5719,485	7279,345
40	1273,885	1990,446	3184,713	4378,981	5573,248

По выведенным в ходе эксперимента и сведенным в таблицу значениям строится график зависимостей, изображенный на рисунке 32.

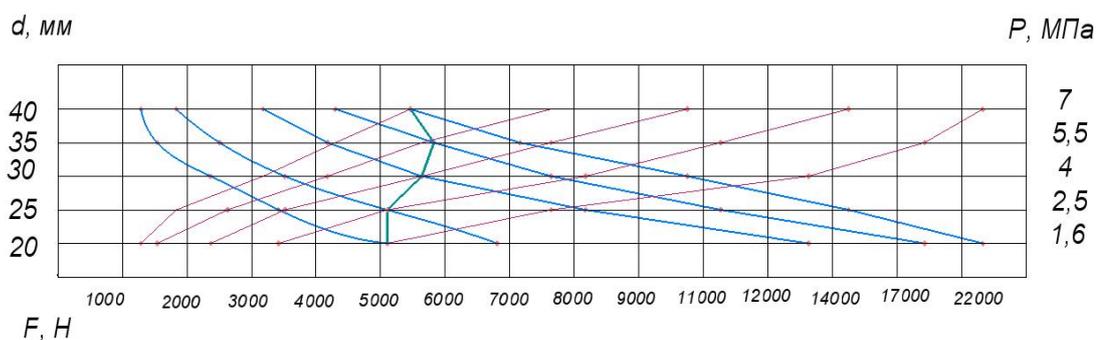


Рисунок 32 – График зависимостей

Как видно из полученных результатов расчетов, сведенных в таблицу выше, и построенного по ним же графика зависимостей, с увеличением значений диаметра d и давления P уменьшаются значения силы F .

Глава 6 Выбор датчиков контроля и силовой головки

6.1 Метод измерения

Данный раздел предназначен для определения метода измерения, который в свою очередь является приемом или совокупностью оных, чье предназначение заключается в сравнении измеряемых физических величин с их единицами, согласно реализованному принципу измерения.

В зависимости от того, каким образом были определены значения измеряемых величин, существуют два метода измерений:

- метод непосредственной оценки, чей смысл заключается в использовании измерительного инструмента прямого действия, поскольку именно с его помощью находится необходимое значение;

- метод сравнения с мерой, чей смысл заключается в сравнении значения измеряемой величины со значением воспроизводимой мерой величины.

Сам же метод сравнения имеет несколько вариаций:

- противопоставления, чей смысл заключается в синхронном воздействии на инструмент или прибор измерения измеряемой и создаваемой мерой величинами;

- дифференциальный, чей смысл заключается в сравнении измеряемой с создаваемой мерой наиболее известной величинами;

- нулевой, чей смысл заключается в снижении до нулевого значения результат действия величин на инструмент или прибор сравнения;

- совпадений, чей смысл заключается в применении схождения отметок шкалы и т.п. с целью вычисления разности измеряемой и создаваемой мерой величинами.

В нашем случае метод – метод сравнения с мерой, а точнее – дифференциальный метод.

В данной работе рассматривается теплообменник, как говорилось ранее, за длительный период использования в теплообменнике образуется накипь, ржавчина и тому подобные загрязнители, что приводит к снижению производительности и дальнейшим поломкам. Для предотвращения этого неблагоприятного исхода необходимо проводить чистку оборудования.

Однако возникает закономерный вопрос – как понять, что теплообменник нуждается в очистке? Для этого нужно определить критерии состояний теплообменника в численном выражении, т.е. когда требуется очистка и когда очистка эффективна/неэффективна. А для этого в свою очередь требуется определить измерение параметров системы теплообменника, т.е. температура до, температура после, пропускная способность теплообменника.

Опираясь на исходные данные теплообменника, в предыдущей главе были проведены расчеты, чтобы вычислить требуемые параметры. Основываясь на вычисленных в предыдущей главе параметрах, были подобраны наиболее подходящие датчики температуры и расхода жидкости.

6.2 Датчик расхода

Для определения температуры и расхода жидкости в теплообменниках используют соответствующие датчики.

Для подбора наиболее подходящих датчиков расхода жидкости руководствуемся вычисленными параметрами, т.е. расход воды датчика должен быть не меньше расхода воды, при котором очистка теплообменника не требуется, $223 \text{ м}^3 / \text{ч}$ и расхода воды, при котором требуется очистка теплообменника $111,5 \text{ м}^3 / \text{ч}$.

Выбранный датчик изображен на рисунке 33.

Датчик расхода может эксплуатироваться в составе счётчика жидкости СЖУ, счетчика тепловой энергии СТС или в составе других изделий и информационно-измерительных систем, воспринимающих электрические импульсные сигналы с частотой в диапазоне 0,2–250 Гц или токовые сигналы.

6.3 Датчик измерения температуры

Выбранный датчик изображен на рисунке 34.



Рисунок 34 – Датчик измерения температуры Pt100

Для подбора наиболее подходящих датчиков для измерения температуры руководствуемся вычисленными параметрами, т.е. в диапазон измерений температуры датчика должны входить параметры температуры, при которых очистка теплообменника не требуется, - температура воды на выходе 89 °С и параметры температуры, при которых очистка требуется, - температура воды на выходе 44,5 °С.

Выбранный датчик имеет следующие характеристики:

- тип Pt100;
- датчик измеряет температуру от -50 до 400 °С;

- материал оболочки: сталь 1,4541;
- длина L оболочки: от 50 до 1000 мм;
- провод;
- кабель Cu или термопарный кабель: $2 \times 0,22 \text{ мм}^2$;
- изоляция из стекловолокна в металлической оплетке;
- длина L_p : 1,5 м.

Для вывода результатов с датчика подберем соответствующий ПИД-регулятор температуры.

Чтобы получить данные о температуре, датчик нужно подключить к контроллеру температуры. В комплекте с выбранным датчиком температуры следует брать ПИД-регулятор температуры MIRKIP REX-C100, изображенный на рисунке 35.



Рисунок 35 – ПИД-регулятор температуры

Данный контроллер температуры выполняет поставленную задачу с определением температуры посредством двухстрочного семисегментного дисплея, где верхняя строка предназначена для фиксации текущей температуры, а нижняя же в свою очередь отвечает за определение целевой температуры.

Преимущество ПИД-регуляторов среди прочих типов регуляторов состоит в применении системы обратной связи, поскольку это обеспечивает свободный контроль текущей температуры, а также позволяет корректировать процесс при необходимости. Вышеописанное преимущество выделяет ПИД-регуляторы из типов регуляторов способностью наиболее быстро и точно осуществлять контроль температуры.

Выбранный контроллер, а именно - REX-C100, является стандартным ПИД-регулятором температуры. Тип выбранного регулятора является панельным, существующий в различных комбинациях.

Одним из преимуществ контроллера С100 является его простые принципы установки. Также немаловажным является такое преимущество данного контроллера как способность отвечать требованиям промышленного оборудования, например, установленные стандартные монтажные размеры и номенклатура проводки.

Микроконтроллер, на котором основаны контроллеры серии Схх, обладает расширенными функциями, в число которых входит автоматическая настройка ПИД-регулятора, которая осуществляет упрощение настройки пропорциональных, интегральных и производных констант.

Выбранный контроллер способен потреблять источники питания 100–240 В переменного тока или 24 В переменного/постоянного тока в зависимости от конфигурации.

Данное устройство оснащено являющейся легко читаемой и управляемой типичной передней панелью. Устройство также оснащено двумя цифровыми дисплеями, которые помимо цветов различаются и выполняемыми функциями, а именно: верхний дисплей, обладающий красным цветом, отвечает за фиксацию измеряемого значения, а нижний же дисплей, обладающий зеленым цветом, отвечает за определение установленного значения, т.е. целевой температуры, которую следует поддерживать.

6.4 Схема подключения датчиков

Исходя из предыдущих разделов, строится схема подключения датчиков, изображенная на рисунке 36.

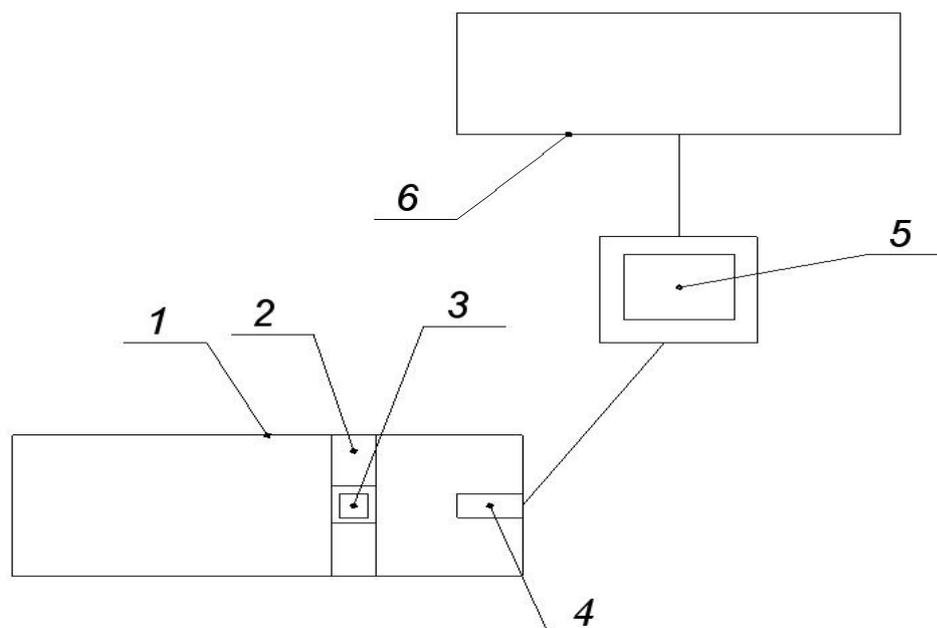


Рисунок 36 - Схема подключения

На рисунке изображена схема подключения датчиков, где 1 – теплообменник, 2 – датчик расхода воды, 3 - преобразователь ЭП (электронный преобразователь) с цифровым индикатором, 4 – датчик температуры, 5 – контроллер, 6 – ПК. Схема работает следующим образом:

- преобразователь ЭП с цифровым индикатором позволяет определить текущий расход воды без установки к контроллеру;
- датчик температуры подключен к теплообменнику и контроллеру, который передает значения температуры.

Подводя итоги главы, формируется следующий вывод: подобранные по вычисленному критерию состояний теплообменника датчики позволят

вовремя проводить чистку теплообменника, тем самым предотвращая снижение производительности и дальнейшие поломки.

6.5 Силовая головка

По значениям, полученным из приведенных ранее расчетов, и подобранному выше датчикам и оборудованию подобрана силовая головка, а конкретнее – блоки подачи под давлением марки ТВ2, изображенные на рисунке 37.



Рисунок 37 – Блоки подачи под давлением

Данный вариант отлично подходит для подачи под давлением и распределения воды в гражданских, сельскохозяйственных и, что наиболее важно в данной работе, промышленных установках.

Подобранные блоки подачи под давлением соответствуют вычисленным ранее значениям, а именно – расходу воды ($223 \text{ м}^3 / \text{ч}$) и мощности (500 Н).

6.6 Выбор серводвигателя

Конструкция установки выполнена, однако остается вопрос – каким образом будет осуществляться передвижение устройства подачи воды. Для этого необходимо выбрать наиболее подходящий электродвигатель.

Выбор был остановлен на серводвигателе, что объясняется рядом преимуществ:

- в сравнение с его размерами и весом мощность серводвигателя значительно высока;
- в сравнение с другими электродвигателями, выбранный серводвигатель отличается наиболее высокой мощностью;
- высокая эффективность;
- достаточно легкий вес;
- двигатель, несмотря на свою работу, сохраняет прохладную температуру, не перегревается;
- не создает резонанс и вибрации;
- достаточно тихая работа, несмотря на набираемую двигателем высокую скорость;
- выбранный электродвигатель отличается от других особой плавностью хода.

Предназначение серводвигателя заключается в установке и фиксации необходимого оборудования в нужном положении, под нужным углом и перемещении оно, согласно заданной программе. Сам серводвигатель является вращающимся двигателем, оснащенным позволяющим отслеживать положение, в том числе угловое, скорость, нагрузку и ускорение механизма, датчиком обратной связи.

Сам вышеназванный датчик называется энкодером. Он предназначен для обратной связи, иными словами – его задача заключается в

преобразовании угла поворота в контролирующий вращение выходного вала, на котором закрепляется инструмент и т.п. сигнал.

Процесс работы сервопривода происходит следующим образом:

- контроллер получает определенную программу работы;
- основываясь на программе работы происходит передача управляющих сигналов на частотный преобразователь;
- частотный преобразователь передает напряжение на электрический двигатель;
- происходит перемещение под нужным углом с установленной скоростью и нагрузкой исполнительного устройства посредством рабочего элемента;
- происходит остановка двигателя посредством передачи сигнала датчиком в блок управления, что в свою очередь происходит после достижения рабочим органом установленной точки перемещения.

Воспользовавшись каталогом PureLogic, был выбран наиболее подходящий электродвигатель, а именно - синхронный PMSM серводвигатель, изображенный на рисунке 38.

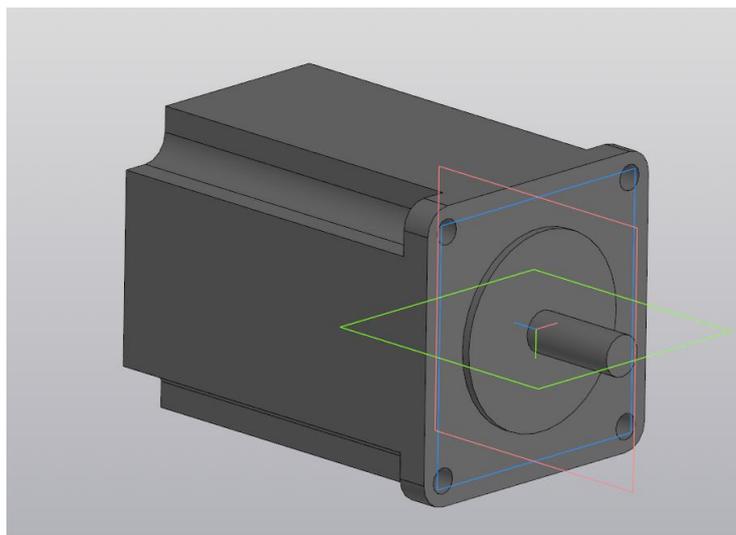


Рисунок 38 - Серводвигатель

Выбор данного серводвигателя основывается на его мощности, а также компактных размерах данного электродвигателя и его весе, достаточно незначительном для конструкции, чтобы вызвать какие-либо деформации и помешать работе автоматической установки. Вышеперечисленное также относится к компактным размерам выбранного электродвигателя.

Выбранный серводвигатель имеет следующие характеристики:

- бренд: LEADSHINE;
- тип: Синхронный PMSM серводвигатель;
- мощность: 500 Вт;
- фланец: NEMA 24 (60мм);
- тормоз: отсутствует;
- напряжение питания: 60 VDC;
- энкодер: 2500PPR;
- класс защиты: IP54;
- скорость вращения: 3000 об/мин;
- момент: 1,27 Н·м;
- вид: Серводвигатели;
- вес, кг: 1,463;
- габаритные размеры (ДхШхВ), мм: 162х60х60.

Подводя итоги главы, формируется следующий вывод: по определенному критерию состояний теплообменного аппарата подобраны наиболее подходящие датчики измерения расхода воды и измерения температуры, которые обеспечивают определение момента для своевременной чистки теплообменного аппарата, что в свою очередь предотвращает снижение производительности и дальнейшие поломки.

Также подобраны наиболее подходящие блоки подачи под давлением, которые обеспечивают саму очистку теплообменного аппарата. Помимо вышеперечисленного в работе также описан подобранный и наиболее подходящий серводвигатель, чье предназначение заключается в обеспечении передвижения источника подачи воды или чистящих средств по

непосредственно отверстиям трубок теплообменника, а также обеспечение передвижения прочих деталей спроектированной установки.

Заключение

В процессе работы над научно-квалификационной работы, целью которой является разработка автоматической установки по очистке промышленных теплообменников, чья научная новизна заключается в том, что установка будет автоматической, не требующей вмешательства человека, были выполнены следующие задачи:

- выбран метод;
- определена форма автоматической установки, а также спроектирована конечная модель установки для метода;
- подготовлена конструкторско-технологическая документация;
- написана программа на языке Python которая по выведенной формуле считает силу F по заданным значениям диаметра d и давления P ;
- подобраны наиболее подходящие датчики для измерения температуры и расхода воды;
- подобраны наиболее подходящие блоки подачи воды под давлением и наиболее подходящий электродвигатель;
- выполнены соответствующие расчеты;
- проведен статический анализ при помощи пакета ANSYS с целью проведения расчетов параметров жесткости установки, а также определения ее устойчивости к силовым смещениям;
- автоматическая установка была представлена на VII всероссийской научной конференции с международным участием «Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения». Сертификат об участии предоставлен в приложении А.

Основываясь на проделанной работе и выполненных задачах, подводятся итоги, из которых в свою очередь следует, что цель научно-квалификационной работы достигнута. Разработанная автоматическая

конструкция успешно может быть применена в процессе очистки теплообменных аппаратов.

Список используемых источников

1. Бакластов А. М., Горбенко В. А., Удыма П. Г. Проектирование, монтаж и эксплуатация тепломассообменных установок : учеб. пособие для вузов / под ред. А. М. Бакластова. — М. : Энергоиздат, 1981. — 336 с.
2. Горбацевич А. Ф., Шкред В. А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: [учебное пособие для машиностроительных специальных вузов]. — 4-е изд., перераб. И доп. — Мн.: Выш. Школа, 1983.-256 с., ил.
3. ГОСТ 12067—80. Теплообменники спиральные стальные. Типы, основные параметры и размеры. М., 1980. 14 с.
4. ГОСТ 15518—87. Аппараты теплообменные пластинчатые. Типы, параметры и основные размеры. М. : ИПК Издательство стандартов, 1999. 30 с.
5. ГОСТ 2.104—2006. Единая система конструкторской документации. Основные надписи. М. : Стандартиформ, 2007. 14 с.
6. ГОСТ Р 53677—2009. Нефтяная и газовая промышленность. Кожухотрубчатые теплообменники. М. : Стандартиформ, 2011. 35 с.
7. ГОСТ Р ИСО 4762 – 2012. Винты с цилиндрической головкой и шестигранным углублением под ключ. М. : Стандартиформ, 2014. 14 с.
8. Карапузова Н. Ю., Фокин В. М. Тепломассообменное оборудование предприятий / Н. Ю. Карапузова, В. М. Фокин ; М-во образования и науки Росс. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. — 68, [3] с.
9. Касаткин А. Г., Основные процессы и аппараты химической технологии, «Химия», М., 1971, 784 с.

10. Каталог PureLogic Алюминиевый конструкционный профиль [Электрон. ресурс] – Электрон. дан. – Режим доступа: https://purelogic.ru/catalog/profil_aluminiumvyu_hxb3030e-8/
11. Каталог PureLogic Бесщеточные серводвигатели [Электрон. ресурс] – Электрон. дан. – Режим доступа: https://purelogic.ru/catalog/servodvigatel_acm604v60-01-2500/
12. Каталог PureLogic Крепеж и аксессуары для алюминиевого и станочного профиля [Электрон. ресурс] – Электрон. дан. – Режим доступа: https://purelogic.ru/catalog/uglovoy_soedinitel_30la-8_al-ang-3030/
13. Каталог PureLogic Профильные рельсовые направляющие, опорные модули(каретки), блоки смазки и пылезащиты HSAC [Электрон. ресурс] – Электрон. дан. – Режим доступа: https://purelogic.ru/catalog/relsovye_napravlyayuschie_hiwin_hgr30rh/
14. Каталог PureLogic Сухари пазовые для алюминиевого станочного профиля [Электрон. ресурс] – Электрон. дан. – Режим доступа: https://purelogic.ru/catalog/suhar_pazovyy_30hm8/
15. Кожухов, В. А. Ремонт технологического оборудования : учебное пособие / В. А. Кожухов, Н. Ю. Кожухова, Ю. Д. Алашкевич. — Красноярск : СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2018. — 114 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/147463> (дата обращения: 12.11.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
16. Луканин В. Н., Теплотехника, М., «Высшая школа», 2002.
17. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи : учеб. для вузов. М. : Бастет, 2010. 344 с.
18. Овчинников, Ю. В. Основы теплотехники : учебник / Ю. В. Овчинников, С. Л. Елистратов, Ю. И. Шаров. — Новосибирск : НГТУ, 2018. — 554 с. — ISBN 978-5-7782-3453-6. — Текст : электронный //

- Лань : электронно-библиотечная система. — URL:
<https://e.lanbook.com/book/118139>
19. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника : справочная серия : в 4 кн. / под общей ред. А. В. Клименко, В. М. Зорина — 4-е изд., стер. — М. : Изд-во МЭИ, 2007. 632 с.
20. Семакина, О. К. Монтаж, эксплуатация и ремонт оборудования отрасли : учебное пособие / О. К. Семакина. — Томск : ТПУ, 2018. — 184 с. — ISBN 978-5-4387-0812-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL:
<https://e.lanbook.com/book/113209>
21. Справочник технолога-машиностроителя. В двух томах. Изд. 4-е переработ. Том 1, 2. Под ред. канд. техн. наук А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова, М., «Машиностроение», 1983.
22. Таранова, Л. В. Теплообменные аппараты и методы их расчета : учебное пособие / Л. В. Таранова. — Тюмень : ТюмГНГУ, 2009. — 152 с. — ISBN 978-5-9961-0081-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL:
<https://e.lanbook.com/book/39216>
23. Теплотехнический справочник / В. В. Галактионов, В. Ю. Пикус, Н. И. Горбунова и др. ; под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. — 2-е изд., перераб. — М. : Энергия, 1976. Т. 2. 896 с.
24. Труды всероссийской с международным участием научно-технической конференции «Теплофизические и технологические аспекты управления качеством в машиностроении» Тольятти: 2005 —430 с.
25. Федотова Е.М. Разработка автоматической установки по очистке промышленных теплообменников // Сборник VII всероссийской научной конференции с международным участием «Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения» - Тольятти. – 2024.

26. Фокин В. М., Веселова Н. М. Тепломассообмен : учебное пособие / В. М. Фокин, Н. М. Веселова ; Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. Волгоград : ВолгГАСУ, 2007. 108 с.
27. Шаров, Ю. И. Термодинамика и теплопередача : учебник / Ю. И. Шаров. — Новосибирск : НГТУ, 2019. — 311 с. — ISBN 978-5-7782-4024-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152148>
28. Bowman, R. A., A. C. Mueller, and W. M. Nagle (1940). “Mean Temperature Difference in Design”, ASME Transactions, Vol. 62, pp. 283–294
29. CASE: Chemical Cleaning of Plate Heat Exchangers - Effective cleaning took only 1 day of work, 9708, https://www.oceanteam.eu/wp-content/uploads/2021/03/4_OTG_Chemical_Cleaning_of_Plate_Heat_Exchangers.pdf
30. Cleaning technology in high temperature food processing, Carin Hagsten, 207896, https://www.academia.edu/73467856/Cleaning_technology_in_high_temperature_food_processing_A_Literature_Review
31. Global Heat Exchanger Services Company, Statement of Qualifications, Jan. 2003.
32. Hewitt, G. F., G. L. Shires, and T. R. Bott (1994). Process Heat Transfer, CRC Press, Boca Raton, FL.
33. Hovland, Alan W., Rankin, Drew A., and Saxon, Edward G., “Heat Exchanger Tube Wear by Mechanical Cleaners,” Proceedings of The Joint Power Generation Conference, 1988, Philadelphia, PA, Sept. 25-29, 1988.
34. Hurt, R., Sahm, A., and Boehm, Dr. Robert F. “CQM Automatic Tube Cleaning System” University of Nevada, Las Vegas. The Center for Energy Research. October 31, 2012.
35. Improving chiller efficiency through automatic tube cleaning system technology, 22345, <https://innovastechnologies.com/innovas/wp->

- content/uploads/2020/10/Whitepaper_Improving-Chiller-Efficiency-with-Tube-Cleaning-System-Technology.pdf
36. Industrial Heat Exchanger: Operation and Maintenance to Minimize Fouling and Corrosion, Teng Kah Hou, Salim Newaz Kazi, Abu Bakar Mahat, Chew Bee Teng, Ahmed Al-Shamma'a and Andy Shaw 40975, <https://pdf4pro.com/view/self-cleaning-heat-exchangers-principle-1b313b.html>
 37. Kim, N.H. and Webb, R.L., "Particulate Fouling in Enhanced Tubes", National Heat Transfer Conference, HTD-Vol 108, 1989.
 38. Ma, R. S. T., and N. Epstein (1981). "Optimum Cycles for Falling Rate Processes," The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 59, October, pp. 631–633.
 39. Mechanical online system for cleaning heat exchanger tubes by sponge rubber balls (Taprogge-system), R. Kleinebrahm, 73434, https://heatexchanger-fouling.com/wp-content/uploads/2021/09/33_Kleinebrahm_Mechanical-Online-System-for-Cleaning.pdf
 40. Meuller-Steinhagen H., Malayeri M.R., Watkinson A.P., "Fouling of Heat Exchangers--New Approaches to Solve an Old Problem." Heat Transfer Engineering, 26(1): 1-4, 2005.
 41. Mussali, Yusuf, Hecker, Goerge E., Cooper, Charles, et al, "Improved On-Line Condenser Cleaning Ball Distribution." Proceedings ASME Power Conference, practical Aspects and performance of Heat Exchanger Components and Materials, 1991, Minneapolis, MN, PWR Vol. 14, pp. 51-56.
 42. Nagle, W. M. (1933). "Mean Temperature Differences in Multipass Heat Exchangers", Industrial Engineering Chemistry, Vol. 26, pp. 604-608.
 43. Neuburg, H.H. "Heat Exchanger Cleaning Systems." Special Print, Taprogge.
 44. On line chemical cleaning of critical heat exchangers for cooling water deposit and their control to sustain high production level of methanol. – An

- experience and case study at GNFC, Dr. R. K. Sharma, Mr. L. It. Patel & Mr. M. M. Bhatt., GNFC, Bharuch, Gujrat, 26986, <https://core.ac.uk/download/pdf/297713375.pdf>
45. Optimizing the cleaning of heat exchangers, Richard E. Putman Conco Consulting Corp., 29493, <https://conco.net/sites/default/files/userfiles/files/technical-papers/optimizing-cleaning-heat-exchangers.pdf>
46. Piper, James E. Operations and Maintenance Manual for Energy Management. Sharpe Professional. New York, 1999.
47. "Principles of Industrial water treatment." Drew chemical corporation.
48. Putman, R.E., and Jaresch, D., "The Impact of AirCooled Condensers on Plant Design and Operations," Proceedings EPRI Condenser Technology Conference, September 11-12, 2002, San Antonio, TX, pp. 249-264.
49. Putman, R.E. and Walker, R., "Proper Maintenance Practices Involving Condenser Cleaning and In-leakage Inspection", Proceedings of the International Conference on Power Station Maintenance 2000, Oxford, England, The Institution of Mechanical Engineers (IMEchE), Sept. 18-20, 2000, pp. 161-170.
50. Putman, R. E., "Timing Cleanings to Boost Heat Exchanger Performance", Chemical Processing, Putman Media, Itasca, IL, Vol. 64, Issue No. 5, May 2001, pp.39- 41.
51. Scale & Deposits control in cooling water systems." Jeffery R. Townsend, 1978, Drew Chemical Corporation.
52. Self-cleaning heat exchangers: principle, industrial applications and operating installations, Dick G. Klaren, Director of Technology and Chief Scientist, 61045, https://www.researchgate.net/publication/228800594_Self-Cleaning_Heat_Exchangers_Principle_Industrial_Applications_and_Operating_Installations

53. Sharma R.K., Patel L.R. & Bhatt M.M.: "Monitoring & Evaluation of cooling water of NP Complex plant, based on improved inhouse treatment"- Indian Fertilizer Scene Annual 2000-2001.
54. Someah, Kaveh. "Automatic Tube Cleaning Systems For Condensers and Heat Exchangers". ESLIE-91_06-02. Proceedings from 13th Nation Industrial Energy Technology Conference, 1991.
55. Steimsma, R.L., Bhayana, G.K. and Thurston, R.D., (1994). "Performance Enhancement by an Innovative Tube Cleaning Application," Proceedings of IJPGC 1994, Phoenix, AZ, American Society of Mechanical Engineers, (ASME) New York, PWR-25-1994, pp. 7-11.
56. TEMA (1988). Standards of the Tubular Heat Exchanger Manufacturers Association, 7th ed., Tarryton, NY.
57. The practical application and innovation of cleaning technology for heat exchangers, 2003. George E. Saxon Jr. Richard E. Putman Conco Systems Inc. Conco Consulting Corp, 53485
58. The problem for shell & tube heat exchangers, HYDROBALL TECHNICS (SEA) PTE LTD, Joo Chiat Complex, Blk 1 Joo Chiat Road, 13653, https://www.rstradehouse.com/pr_img/1002410047/20170919/29473933/HydroBall_Technics_Brochure.pdf
59. The role of organophosphates in cooling water treatment."D.J.Banerjee; vol. 4, No.3, 1981, corrosion & maintenance.
60. Underwood, A. G. V. (1934). "The Calculation of the Mean Temperature Difference in Multi-Pass Heat Exchangers," Journal of the Institute of Petroleum Technology, Vol. 25, p. 145.
61. Zimmerman, Kerry. "Optimizing Performance of Chillers With Enhanced Tubes." Technical Paper. GE Infrastructure Water and Process Technologies.

Приложение А

Сертификат о публикации статьи

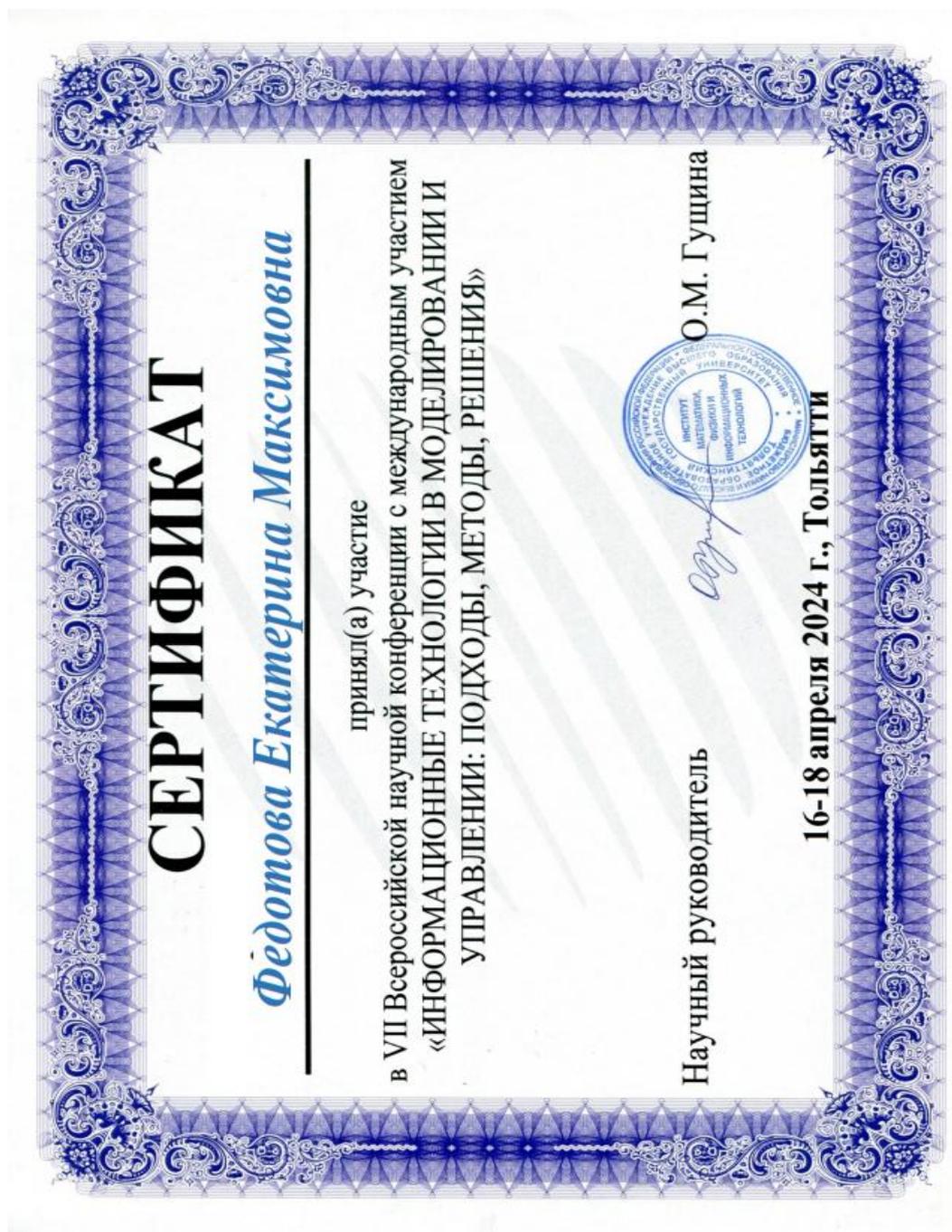


Рисунок А.1 - Сертификат