

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Институт энергетики и транспортных систем

Работа допущена к защите  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Ю.В.Кожухов  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019г.

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА**

### **РАСЧЕТ СИСТЕМ КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ С ПРИВОДОМ ОТ КОМБИНИРОВАННОЙ КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ**

по направлению 13.03.03 – Энергетическое машиностроение  
по образовательной программе

13.03.03\_06 – Компрессорные и холодильные машины и установки

Выполнил

студент гр.43224/1

Руководитель

зам. зав. каф., к.т.н.

А. А. Лебедев

Консультант

зам. зав. каф. по дог. раб.

С. В. Карташов

Санкт-Петербург

2019

## Реферат

На 34 с., 16 рисунков, 4 таблица, 8 приложений

Центробежный компрессор, турбонаддув, расход масла, метод вычислительной газодинамики, характеристики установки, маслообеспечение, схема маслоснабжения, КОМПАС-3D v18.0

В ходе проделанной дипломной работы, с помощью комплексной программы КОМПАС 3D v18.0 была спроектирована схема маслоснабжения. Проведен расчет масляного хозяйства. Составлены требования пожарной безопасности при использовании маслохозяйства и маслonaполненного оборудования.

### THE ABSTRACT

At 34 p., 16 figures, 4 table, 8 applications

Centrifugal compressor, turbocharger, oil consumption, method of computational fluid dynamics, characteristics of the installation, mesoamericana, diagram of oil supply, КОМПАС-3D v18.0

In the course of the thesis, with the help of a comprehensive program COMPASS 3D v18.0 oil supply scheme was designed. The calculation of the oil economy. Fire safety requirements for the use of oil industry and oil-filled equipment are made up.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Институт энергетики и транспортных систем  
Кафедра "Компрессорная, вакуумная и холодильная техника"

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой КВиХТ

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_/ Ю.В. Кожухов

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

**ЗАДАНИЕ**

**по выполнению выпускной квалификационной работы**

студенту , гр. 43224/1

фамилия, имя, отчество (при наличии), номер группы

1. Тема работы: расчет систем компрессорной установки с приводом от комбинированной компрессорной установки

2. Срок сдачи студентом законченной работы: 21 июня 2019

3. Исходные данные по работе: объектом исследования является установка, состоящая из двух турбонаддувов и поршневого компрессора. Турбонаддувочный агрегат состоит из компрессора и турбины. Компрессор имеет отношение давлений на входе и выходе  $\Pi=1.44$ , температуру на входе 293К и давление 1 атм. Турбина имеет температуру на входе 918К и давление 6.3атм .

4. Содержание работы (перечень подлежащих разработке вопросов):

1) Создание схематичного проекта станции в программном комплексе при заданных условиях

2) Проведение исследовательской работы в области маслоснабжения компрессорной станции и ее составляющих

3

3) Проектирование схемы маслоснабжения компрессорной установки с приводом от комбинированной компрессорной установки в КОМПАС 3D.

5. Перечень графического материала с указанием обязательных чертежей (если есть): Схема маслоснабжения установки.

6. Консультанты по работе (если есть):

Зам. зав. С. В. Карташов

7. Дата выдачи задания \_\_\_\_\_

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_

(подпись)

А. А. Лебедев

инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению «    » \_\_\_\_\_ 2019 г.

(дата)

Студент \_\_\_\_\_

(подпись)

инициалы, фамилия

## Содержание

Реферат .....	2
Содержание .....	5
Введение .....	7
Постановка задачи.....	9
1.1. Цели и задачи работы .....	9
1.2. Описание и принцип работы установки .....	9
1.3. Программное обеспечение для построения схем.....	10
1.4. Описание программного комплекса КОМПАС 3D v19.0.....	11
1.5. Подключение дополнительных библиотек в КОМПАС 3D v18.0 ...	13
1.6. Описание модели .....	15
1.7. Расчет системы маслоснабжения.....	17
Составляющие системы маслоснабжения .....	20
Назначение, состав, общие требования.....	20
Масленный бак .....	21
Применяемое масло, контроль и нормы качества .....	23
Пусковой маслонасос .....	25
Резервный маслонасос .....	25
Аварийный маслонасос .....	26

Пожарная безопасность .....	26
Проектирование 3D модели.....	28
3.1 Постановка задачи .....	28
3.2 Построение 3d модели .....	31
Заключение .....	34
Приложения .....	36
Список используемой литературы .....	43

## Введение

Надежность эксплуатируемых газоперекачивающих агрегатов (далее ГПА) при их эксплуатации является одним из самых важных вопросов эксплуатационного персонала. Маслоснабжение является одним из главных аспектов бесперебойной работы агрегатов. И поэтому, проектирование системы подвода масла к установке требует правильного и качественного подхода. Система маслообеспечения применяется для уплотнения, регулирования и смазки компрессорных установок, поршневых компрессоров, подшипников, масляных уплотнений, насосов, газовых турбин и нагнетателей. Анализ системы маслоснабжения компрессорной станции, составляющих таковой и ее эксплуатации является одним из важнейших вопросов в подготовке инженеров.

Смазочные материалы на компрессорной станции расходуются компрессорами, насосами водоснабжения, двигателями, приводящими в действие компрессоры, и другими машинами и устройствами.

Масло расходуется также на смазку висциновых металлических фильтров, на смазывание подсобного оборудования, на заливку емкостных систем (картеров машин и баков), для заливки трансформаторов, для проведения испытаний и т. п.

Обычно нормы расхода смазочных материалов указываются в технической документации оборудования, поставляемого заводом-изготовителем. В отдельных случаях нормы расхода смазочных материалов могут устанавливаться администрацией предприятия исходя из имеющихся заводских инструкций и фактического состояния эксплуатируемого оборудования.

На станциях, эксплуатируемых смазочные материалы, присутствует масляное хозяйство. Стационарное масляное хозяйство предназначено для приема хранения и регенерации масла.

В выпускной квалификационной работе приняты следующие сокращения:

ГПА — Газоперекачивающий агрегат

КС — Компрессорная станция

КТЦ — Котлотурбинный цех

МОУ — Маслоочистительная установка

МО — Маслоохладитель

МБ — Масленный бак

ПДК — Предельно допустимая концентрация

ТГ — Турбогенератор

ТО — Турбинное отделение

ТТЦ — Топливо-транспортный цех

САПР- Система автоматизированного проектирования



## **Постановка задачи**

### **1.1. Цели и задачи работы**

Цель работы: комплексное исследование системы маслоснабжения компрессорной установки с приводом от комбинированной компрессорной установки.

Задачи, выполняемые для достижения поставленной задачи:

1. Создание схематичного проекта станции в программном комплексе КОМПАС 3D v19.0
2. Проведение исследовательской работы в области маслоснабжения компрессорной станции и ее составляющих.
3. Подбор смазочного материала.
4. Проведение анализа системы маслоснабжения компрессорной станции.
5. Проектирование схемы маслоснабжения компрессорной установки с приводом от комбинированной компрессорной установки в КОМПАС 3D.

### **1.2. Описание и принцип работы установки**

Объектом исследования является установка, состоящая из поршневого компрессора, газовых турбин, турбонаддува, спроектированная на кафедре КВиХТ СПбПУ А.А.Лебедевым, в 2019 г.

Турбонаддувочный агрегат или газотурбинный нагнетатель — устройство, использующее энергию выхлопных газов для нагнетания воздуха. Выхлопные газы приводят в действие турбину, которая вращает

одноступенчатый центробежный компрессор, сидящий с ней на одном валу. Турбокомпрессор увеличивает массу воздуха, что позволяет сжигать больше топлива и увеличивает литровую мощность двигателя. Применение турбонаддува способствует увеличению КПД. Особенно эффективно применение турбонаддува у дизельных двигателей. Турбонаддув применяется также у бензиновых двигателей современных легковых автомобилей. Отношение давлений в зависимости от типа двигателя может быть в пределах от 1,25 до 3,5. Массовый расход определяется теоретически необходимым количеством воздуха для сжигания одного килограмма топлива (около 15 кг воздуха) и коэффициентом избытка воздуха, который может быть очень большим у дизельных двигателей. У сравнительно небольших двигателей легковых автомобилей массовый расход центробежного компрессора измеряется малыми долями килограмма в секунду, при этом диаметр рабочих колес может быть порядка 50 мм, а для получения необходимой окружной скорости число оборотов измеряется десятками тысяч в минуту. У крупных судовых дизелей центробежные компрессоры турбонаддува должны обеспечивать расход, измеряемый многими кг/с и имеют большие размеры.

### **1.3. Программное обеспечение для построения схем.**

Для построения теплофикационных схем, схем мазутопровода, газопровода, систем маслоснабжения на производстве обычно используется MICROSOFT VISIO. Microsoft Visio –мощная программа, адаптированная для создания схем, инженерных, строительных, архитектурных чертежей, незаменимое средство для проектирования компрессорных станций. Интерфейс не усложнен лишними инструментами, прост и приятен в использовании.

Благодаря тому, что Visio входит в состав Office, импорт информации из этих приложений будет максимально быстрым. Стандартный интерфейс предоставляет наборы элементов для построения многоцелевых, организационных блок-схем и графиков. Удобной визуализации способствует и библиотека бесплатных шаблонов: выбор образца и его заполнение займет минимальное количество времени.

Так же для построения трубопровода любой сложности подходит ПО Easymneto. Easymneto - это программное обеспечение для создания схем, чертежей, диаграмм. Полученные рисунки можно использовать для документов, презентаций, мнемосхем, рекламных материалов, визиток и др. Программа содержит большую библиотеку элементов, в том числе изображений продукции популярных производителей оборудования, изображения графических символов из стандартов ГОСТ, АВОК. Большое внимание уделено тепло-, водо-, газоснабжению, АСУТП. ПО дает возможность сохранения растрового изображения схемы.

Для достижения поставленной задачи мною использовался программный комплекс КОМПАС 3D v 18.0. Облегчают задачу построения схемы маслоснабжения использование: «Библиотека фрагментов изображений насосов, редукторов, выключателей путевых и пр», «Библиотека фрагментов изображений элементов пневмо- гидроаппаратуры, червячных редукторов, электродвигателей и пр.», «Библиотека фрагментов трубопроводной арматуры».

#### **1.4. Описание программного комплекса КОМПАС 3D v19.0**

Схематичное моделирование станции в программном комплексе КОМПАС 3D v18.0.

КОМПАС 3D v18.0 – система трехмерного проектирования, ставшая стандартом для тысяч предприятий, благодаря сочетанию простоты освоения и легкости работы с мощными функциональными возможностями твердотельного и поверхностного моделирования

Для построения схемы использовались встраиваемые библиотеки. С помощью данных приложений удалось быстро и качественно создать виртуальную модель станции с возможностью её дальнейшего редактирования.

Библиотеки позволяют использовать в своем проекте стандартные изделия.

Библиотека «Элементы трубопроводной арматуры» - позволяет использовать изображения клапанов, ниппелей, конических дюймовых резьб, труб.

Библиотека «пневмо- гидроаппаратуры, червячных редукторов, электродвигателей и пр.» - позволяет добавлять гидроаппаратуры, червячных редукторов, электродвигателей и пр.

Библиотека «насосов, редукторов, выключателей путевых и пр.» - содержит изображения насосов, редукторов, выключателей путевых и пр.

Преимущества обновления 18.0 от предыдущих версий КОМПАС 3D не только в усовершенствовании интерфейса, но и в быстродействии.

Сравнительные быстродействия КОМПАС-3D версий с v16 по v18

Действие	v16	v17	v18
Перемещение примитивной модели	46	37	7
Вставка модели компонента	260	275	8
Работы МДТ	2 927	288	10
Создание модели	685	648	10
Открытие сборки	1 026	44	17
Построение стандартных профилей	1 458	1 216	17
Перестроение СА-проект модели	1 648	1 174	17
Вывод СА	25	13	7
Создание спецификации по сборке	127	115	10
Перестроение спецификации	157	34	17
Создание спецификации	689	640	10
<b>Т. Механика</b>	<b>15040</b>	<b>7937</b>	<b>100</b>
Скорость вращения при трансформации модели	0,3	0,4	100
Скорость вращения при изменении модели	0,4	0,5	110
Скорость вращения при массовом трансформации	0,2	0,3	100

Рис. 1.1 Сравнение быстродействия КОМПАС-3D версий с v16 по 18.

### 1.5. Подключение дополнительных библиотек в КОМПАС 3D v18.0

Для подключения вспомогательных библиотек в программном комплексе КОМПАС 3D версии 18.0 необходимо:

1. Найти на панели быстрого доступа вкладку «Приложения»

2. Во вспомогательном окне выбрать «Добавить приложения...»

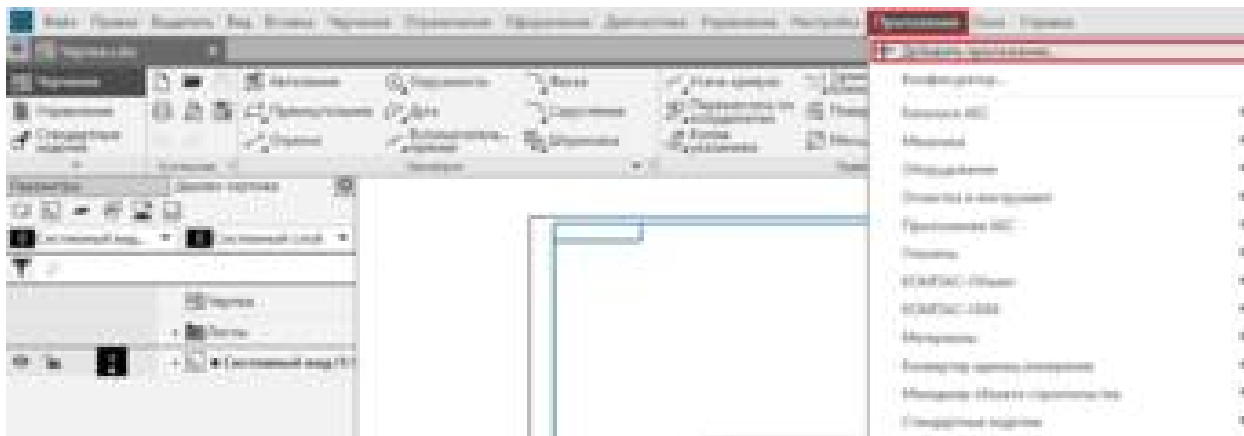


Рис. 1.2 Панель быстрого доступа КОМПАС 3D v18.0

3. Во всплывающем окне указать путь в папку «..libs»

4. Открыть необходимый файл библиотеки формата «.rtw»

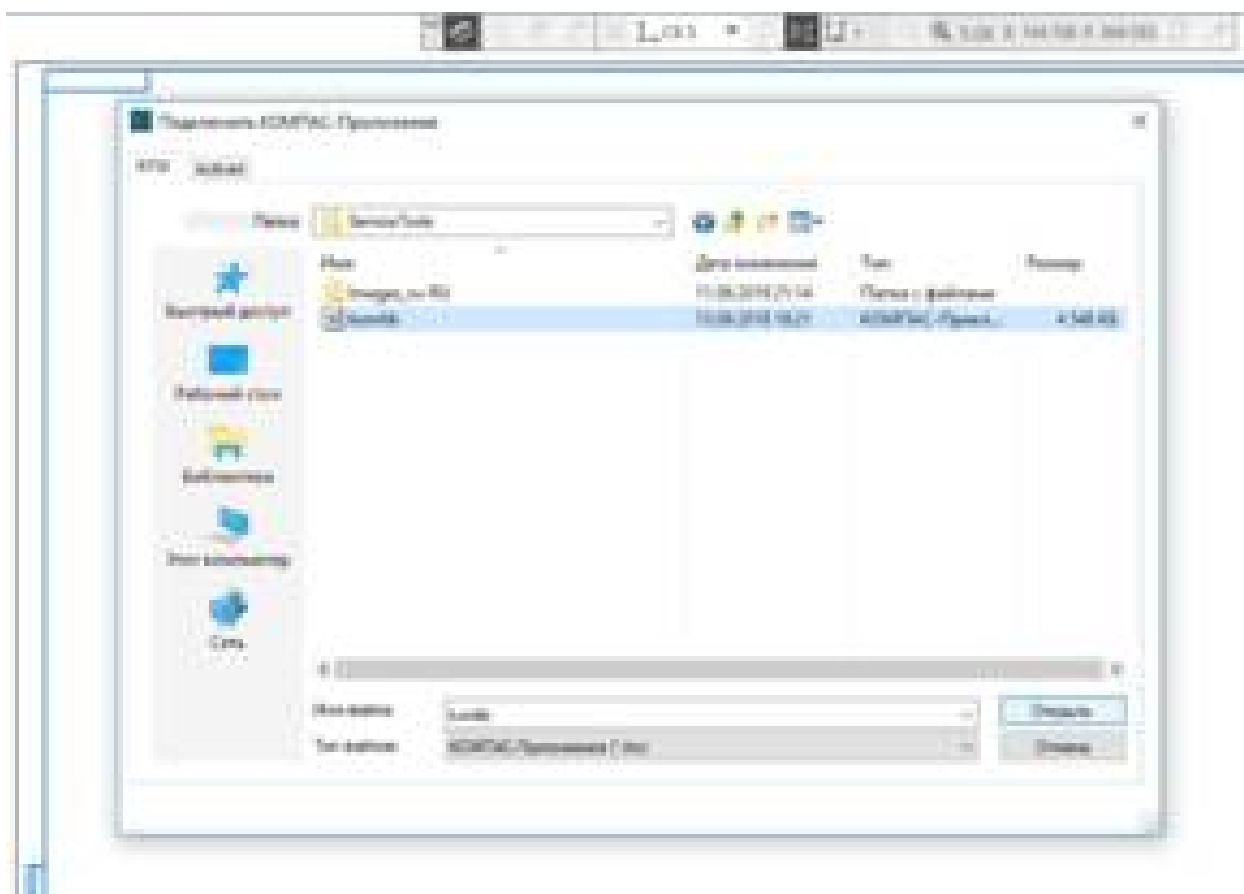


Рис. 1.3 Окно подключения приложения КОМПАС 3D 18.0

### 1.6. Описание модели

Для достижения цели необходимо наложить на схему исследуемой установки схему маслоснабжения. На рис.1.5 представлен эскиз исследуемой установки.

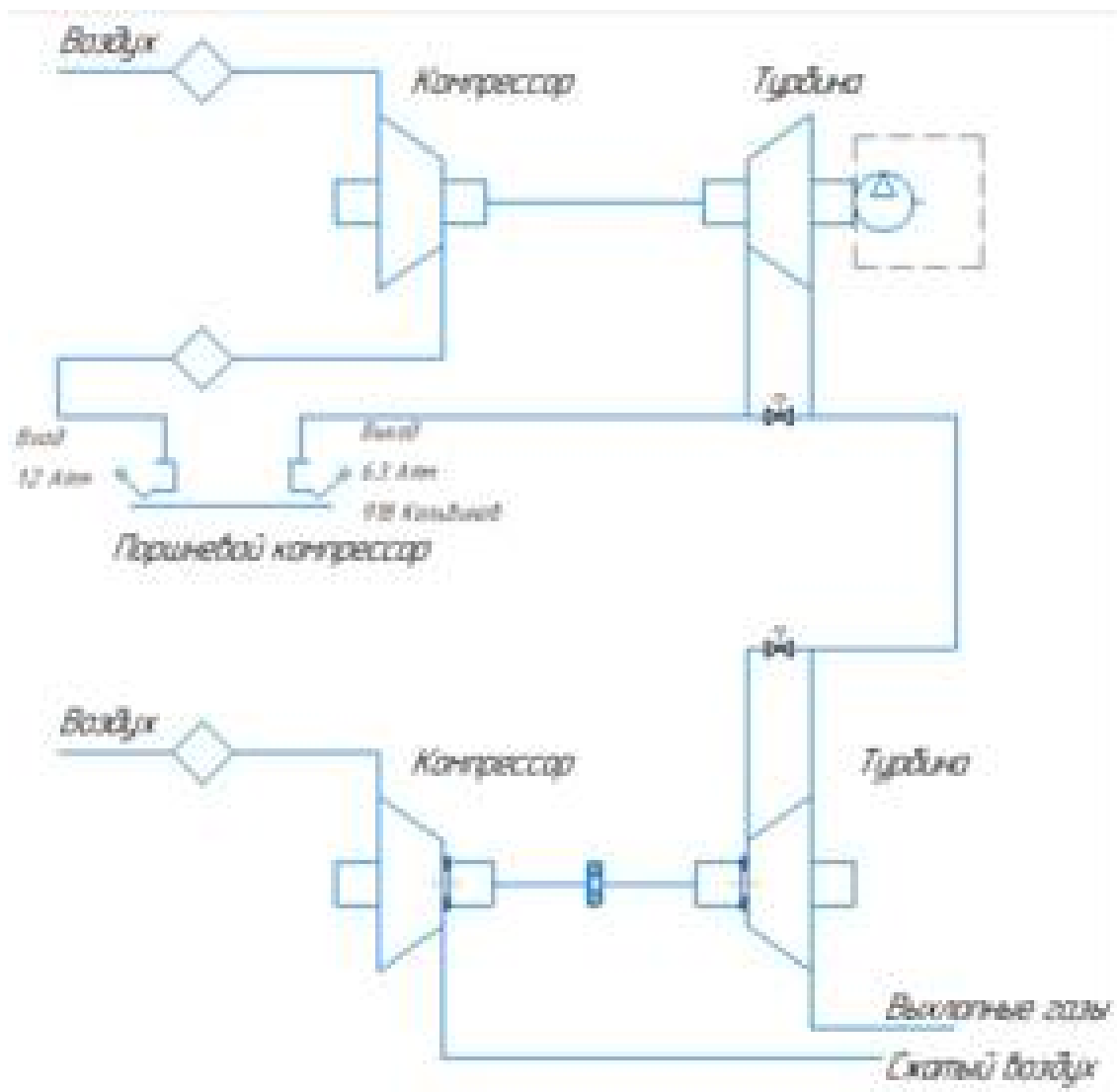


Рис.1.4 Эскиз исследуемой установки

Для построения схемы маслоснабжения необходимо решить стационарные задачи.

Расчет и дальнейшее внедрение в схему масляного бака (МБ), насосов циркуляционных, насосов охлаждения турбины и компрессора. Прокладка трубопровода. Подбор смазывающего масла.

Для решение поставленной задачи была проведена исследовательская работа в ходе которой были найдены граничные условия для каждой установки нашей станции.

Граничные условия:

газ – метан

Полное давление газа на входе в ступень  $P_n^*$ , Па

Полная температура газа на входе в ступень  $T_n^*$ , К

Массовый расход газа  $m$ , кг/с

Частота вращения ротора

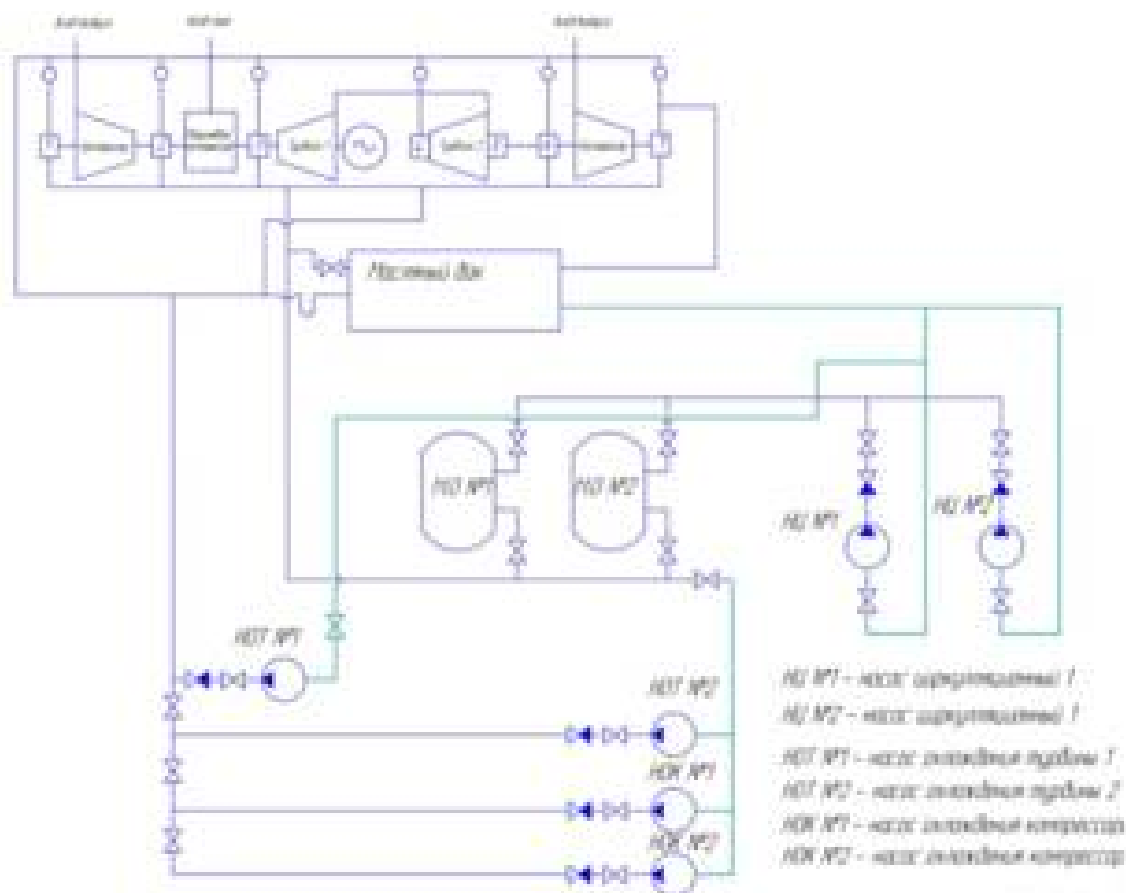


Рис.1.5 Схема маслоснабжения



### 1.7. Расчет системы маслоснабжения.

Для построения схемы маслоснабжения необходимо провести расчет составляющих её систем. В расчет входит:

Вычисление массового расхода турбинного масла, количество тепла выделяемого во всех подшипниках, работающих насосовых агрегатов, объемного расхода масла, площадь поверхности охлаждения маслоохладителей. Формулы для вычисления данных величин приведены ниже.

1. Уравнение теплового баланса:

$$Q = nN(1 - \eta)A, \quad (1.1)$$

где  $Q$  – Количество тепла, Дж/с;

где  $n$  – максимальное число работающих агрегатов.

где  $N$  – мощность на валу электродвигателя

где  $\eta$  – коэффициент полезного действия подшипников

где  $A$  – тепловой эквивалент механической работы

2. Массовый расход турбинного масла:

$$G_{\text{ж}} = \frac{Q}{C_{\text{ж}}(t_{2\text{ж}} - t_{1\text{ж}})}, \quad (1.2)$$

где  $G_{\text{м}}$  - массовый расход масла, кг/с

где  $C_{\text{м}}$  - теплоемкость масла, Дж/(кгК), для практических расчетов

теплоемкость масла можно принять  $C_{\text{м}}=2100$  Дж/(кгК)

где  $t_{1\text{м}}$  - температура масла на входе в подшипник, С

где  $t_{2\text{м}}$  - температура масла на выходе из подшипника, С

3. Объемный расход масла

$$Q_m = \frac{G_{ж}}{\rho}, \quad (1.4)$$

где  $Q_m$  - объемный расход масла, м<sup>3</sup>/с;

4. Расчетная производительность маслоохладителей

$$g = Qc(t_{2B} - t_{1B}) \quad (1.5)$$

где  $g$  - расчетная производительность маслоохладителей, Вт;

$t_{1B}$  - температура воздуха на входе маслоохладителей, С;

$t_{2B}$  - температура воздуха на выходе маслоохладителей, С;

5. Площадь поверхности охлаждения маслоохладителей.

$$F = \frac{g}{K_T(t_{cp} - t_T)} \quad (1.6)$$

где  $t_{cp}$  - средняя температура масла, С,

где  $t_T$  - расчетная температура воздуха, С,

6. Число подлежащих установке маслоохладителей.

$$n_{ж} = \frac{F}{F_1} \quad (1.7)$$

где  $F_1$  - площади поверхности охлаждения одного маслоохладителя

Исходя из расчетов к установке применяем два маслоохладителя. Маслоохладители соединяются параллельно. Для регулирования теплопередачи маслоохладителей могут быть использованы, смонтированные на каждом из них жалюзийные решетки.

7. Коэффициент внутреннего и теоретического напоров определяется как:

$$\psi_i = \frac{h_i}{U_2^2} \quad (1.8)$$

8. Политропный КПД по параметрам торможения определяется по зависимости:

$$\eta_{\Pi}^* = \frac{h_{\Pi} + h_{\text{д}}}{h_i} \quad (1.9)$$

## Составляющие системы маслоснабжения

### Назначение, состав, общие требования

Масляная система обеспечивает маслом систему смазки подшипников турбины и генератора, систему регулирования турбины и уплотнений генератора. Включает в себя: масляный бак (МБ) с инжекторной группой и маслоохладителями, маслопроводы подвода масла на подшипники турбины и генератора, сливной маслопровод, маслопроводы на регулирование, маслonaсосы смазки, пусковой маслonaсос, главный масляный насос, бак грязного масла (БГМ) с насосом НБГМ, центрифугу с фильтр-прессом и необходимую арматуру.

БГМ предназначен для сбора протечек масла и опорожнения МБ и маслоохладителей. Насосом НБГМ масло откачивается из бака на маслоаппаратную в свободную емкость для последующей регенерации. При необходимости, очистка масла от воды и мехпримесей может осуществляться центрифугой и передвижным фильтр-прессом.

При эксплуатации систем маслоснабжения турбоустановки должны быть обеспечены:

- надежность работы агрегатов на всех режимах;
- пожаробезопасность;
- поддержание нормальных качеств масла и температурного режима;
- предотвращение протечек масла и попадания его в охлаждающую систему и окружающую среду;

Учет расходования масла в соответствии с нормами. Оперативный персонал обязан производить проверку включения РМН и АМН и устройств АВР насосов 2 раза в месяц (1-го и 15-го числа) при работе турбины, а также перед каждым пуском и остановом. Проверка производится по специальной программе и ее результаты фиксируются в специальном и оперативных

журналах ЦТАИ и КТЦ. Учет расхода масла ведется в специальном журнале НСКТЦ.

Запорная арматура, устанавливаемая на линиях системы смазки, регулирования, аварийного слива, уплотнений генератора, ошибочное переключение которой может привести к останову или повреждению оборудования, должна быть опломбирована в рабочем положении.

### Масленный бак

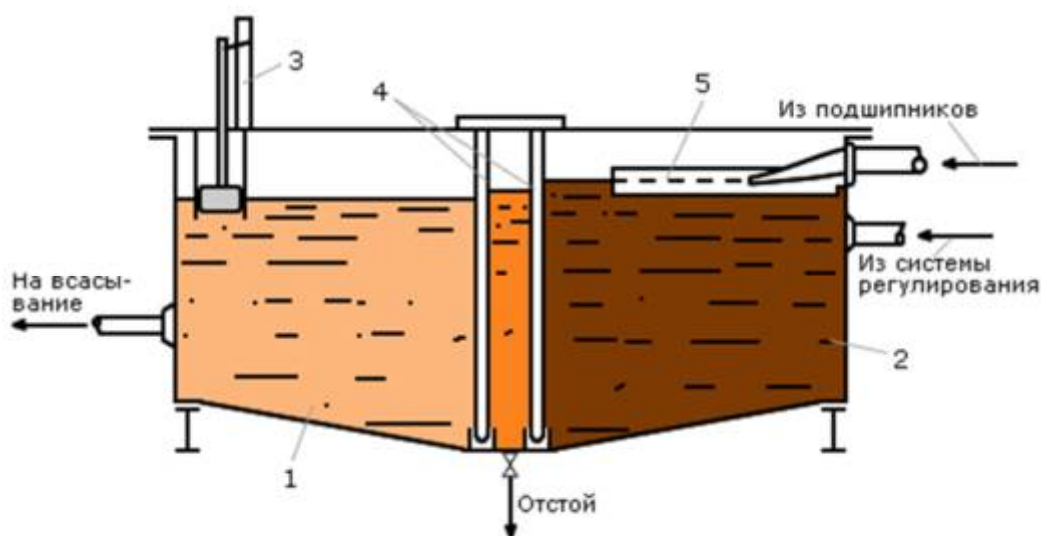


Рис. 2.1 Конструкция Маслобака. 1 – чистый отсек; 2 – грязный отсек; 3 – указатель уровня масла; 4 – фильтрующие сетки.

МБ—это металлическая емкость с рабочим объемом /до верхнего допустимого уровня/ в которой смонтированы несколько маслоохладителей, инжектор смазки и главный инжектор, внутренние маслопроводы, указатели уровня масла. Масло, сливаясь из подшипников и системы регулирования, проходит через пеногасители, первый ряд сеток, затем второй ряд более мелких сеток. Сетки разделяют маслобак на три отсека: сливной (грязный), средний и чистый. В среднем отсеке имеется перегородка для успокоения потока масла. Мелкие сетки, выполненные в виде буквы «П», образуют люк-

лаз. Такая конструкция фильтров позволяет получить увеличенное проходное сечение с целью предотвращения большого перепада уровней масла между чистым и средним отсеками. Сетки первого и второго ряда съемные и двойные, поэтому могут поочередно выниматься для чистки во время работы. В масляном баке также расположены механические указатели уровней масла чистого и среднего отсеков. В крышке бака предусмотрены отверстия с пробками для проверки поплавков.

Из чистого отсека масло подается в линию всасывания главного насоса главным инжектором, который создает перед всасывающим патрубком насоса давление - 0,3 кгс/см<sup>2</sup>, а также к инжектору смазки. Инжектором смазки, работающим как вторая ступень главного инжектора, давление повышается с 0,3 кгс/см<sup>2</sup> (от главного инжектора) до 0,6 - 0,8 кгс/см<sup>2</sup> в системе смазки. Масляные инжекторы /главный и смазки/объединены в одну инжекторную группу. При таком соединении инжекторов в случае засорения сопла инжектора смазки некоторое количество масла к подшипникам будет продолжать поступать от главного инжектора. Оба инжектора укреплены на крышке бака и могут быть вынуты из него в случае необходимости. За инжектором смазки устанавливается обратный клапан, который не допускает слива масла через инжекторы в бак при работе электронасосов смазки. На крышку выведена тяга с указателем положения клапана. С помощью тяги можно расходить клапан. После обратного клапана масло поступает в нижний коллектор, а затем в маслоохладители (МО). Из МО масло попадает в верхний коллектор, а затем на смазку подшипников. МО встроены в МБ турбины и могут отключаться при работе по маслу и воде.

Заполнение МБ турбины производится из доливочных МБ. Контроль ведется по м/у стеклам доливочных баков и механическим указателям уровня масла чистого и среднего отсеков, расположенным на крышке МБ

турбины. В крышке также предусмотрены отверстия с пробками для проверки поплавков.

Опорожнение МБ и МО производится на БГМ.

Аварийный слив масла в случае пожара производится вручную задвижками и обеспечивается трубопроводами в емкость аварийного слива в течение 20 мин после открытия задвижек.

### **Применяемое масло, контроль и нормы качества**

В турбине применяется масло турбинное марок ТП-22, ТП-22с. В процессе хранения и эксплуатации турбинное масло должно периодически подвергаться визуальному контролю и сокращенному анализу. Визуальный контроль масла заключается в проверке его по внешнему виду на содержание воды, шлама и механических примесей для решения о необходимости его очистки или замены. В объем сокращенного анализа масла входит определение кислотного числа, наличия механических примесей, шлама и воды.

Визуальный контроль турбинного масла должен проводиться 1 раз в сутки.

Периодичность проведения сокращенного анализа турбинного масла Тп-22С (ТУ 38.101.821-83) – не позднее чем через месяц после заливки в маслосистему и далее в процессе эксплуатации не реже 1 раза в 2 месяца при кислотном числе до 0,1 мг КОН на 1 г масла включительно и не реже 1 раза в месяц при кислотном числе более 0,1 мг КОН на 1 г масла.

При обнаружении в масле шлама или механических примесей во время визуального контроля должен быть проведен внеочередной сокращенный анализ.

Эксплуатационное турбинное масло должно удовлетворять следующим нормам:

- кислотное число – не более 0,3 мг КОН на 1 г масла;

- вода, шлам, механические примеси должны отсутствовать (определяется визуально);
- растворенный шлам должен отсутствовать (определяется при кислотном числе 0,1 мг КОН на 1 г масла и выше);
- термоокислительная стабильность – по ГОСТ 981-75 для масла Тп-22С (кислотное число – не более 0,8 КОН на 1 г масла; массовая доля осадка – не более 0,15 %).
- термоокислительная стабильность определяется 1 раз в год перед наступлением ОЗМ для масел с кислотным числом 0,1 мг КОН на 1г масла и более. Для масла из маслосистем ПЭН этот показатель не определяется.

До слива из цистерны турбинное масло должно быть подвергнуто лабораторному испытанию на кислотное число, температуру вспышки, кинематическую вязкость, реакцию водной вытяжки, время деэмульсации, содержание механических примесей и воды.

Турбинное масло, слитое из цистерны в свободный чистый сухой резервуар, должно быть проверено на время деэмульсации, стабильность против окисления, антикоррозионные свойства. В случае несоответствия качества масла по этим показателям требованиям ГОСТ должен быть выполнен анализ пробы, отобранной из цистерны.

Слитое из цистерн масло должно быть приведено в состояние, пригодное для заливки в оборудование. На ТЭЦ должен храниться постоянный запас турбинного масла в количестве, равном (или более) вместимости маслосистемы одной турбины плюс запас на доливки не менее 45-дневной потребности.

В системах смазки вспомогательного оборудования с принудительной циркуляцией масло должно подвергаться визуальному контролю на содержание механических примесей, шлама и воды не реже 1 раза в месяц. При обнаружении загрязнения масло должно быть очищено или заменено.



Контроль качества свежего и эксплуатационного масла и техническое руководство технологией обработки осуществляет ХЦ.

### **Пусковой маслонасос**

ПМН предназначен для подачи масла в системы регулирования, смазки и уплотнений генератора при пуске турбины.

Таблица 2.1 Технические данные ПМН

Основные технические данные насоса:

Тип	ЦНСМ - 300 - 240
Производительность	300 м3/час
Напор	240 м в.ст.
Высота всаса	5 м в.ст
Обороты	1475 об/мин
Тип электродвигателя	А-114-4 М
Мощность	320 кВт
Напряжение	6 кВ
Сила тока	36,7 А

### **Резервный маслонасос**

РМН предназначен для подачи масла в систему смазки при останове в период выбега и при работе турбины на ВПУ

Таблица 2.2 Технические данные РМН

Основные технические данные насоса:

Тип	Д-200-3
Производительность	250-150 м3/ч
Напор	31-40 м в.ст.

Обороты	1450 об/мин
Тип электродвигателя	ВАО 71-4 У2
Мощность	22 кВт
Напряжение	380/650 В
Сила тока	95/55 А

### **Аварийный маслонасос**

АМН предназначен для подачи масла в систему смазки в случае отказа, неисправности РМН или потери электрических собственных нужд 0,4кВ. АМН приводится в действие электродвигателем постоянного тока, питаемым от аккумуляторной батареи.

Таблица 2.3 Технические данные АМН

Основные технические данные насоса:

Тип	Д-200-35
Производительность	100-150 м <sup>3</sup> /ч
Напор	97-104 м в.ст.
Обороты	2950 об/мин
Тип электродвигателя	П-62
Мощность	220 В
Напряжение	14 кВт

### **Пожарная безопасность**

Во время дежурства оперативный персонал обязан:

- следить за плотностью масляной системы;

- не допускать подтеков масла на горячие поверхности;
- регулярно производить очистку поверхностей турбоагрегатов и маслонаполненного оборудования от отложений;
- следить за отсутствием на горячих поверхностях досок, тряпок и других воспламеняющихся предметов, промасленная ветошь должна ежесменно удаляться из машинного зала;
- не допускать вибрации маслопроводов. В случае возникновения чрезмерной (опасной) вибрации маслопроводов, пульсации давления масла и гидроударов, угрожающих плотности маслосистем, турбину необходимо аварийно остановить, выявить и устранить причины нарушения в работе маслосистем и подвергнуть гидравлической опрессовке при давлении, превышающем рабочее в 1,5 раза. Для предотвращения пульсаций и вибрации маслопроводов из-за наличия в них воздуха, необходимо включить ПМН и произвести прокачку масла давлением, сниженным до 25-30 % от рабочего, в течение 15-20 минут;
- не допускать производства огневых работ в радиусе 10 метров от маслобака, маслопроводов, генератора и трубопроводов газомасляной системы, находящихся под водородом, без наряда и анализа воздуха на содержание водорода;
- держать в работе два эксгаустера для удаления водорода из маслобака и сливного маслопровода;
- проверять укомплектованность пожарных постов при приеме смены и следить за исправным состоянием первичных средств пожаротушения, периодически по графику производить опробование оборудования пенотушения.

При работающем маслососе запрещается проведение работ на маслопроводах и системе регулирования, за исключением работ по замене манометров и наладочных работ по специальной программе, утвержденной главным инженером станции.

При воспламенении масла, вызванным нарушением плотности маслосистемы, и невозможности немедленно ликвидировать пожар, турбину необходимо остановить воздействием на АБ или КАО БЦУ со срывом вакуума и одновременным вытеснением водорода из генератора. Следует немедленно сообщить о пожаре НСКТЦ, НСС и вызвать пожарную команду, принимая при этом все возможные меры для ликвидации пожара собственными силами и имеющимися средствами. Порядок действий дежурного персонала установлен Оперативным планом пожаротушения, оперативными карточками пожаротушения, инструкцией по противопожарной безопасности КТЦ.

Аварийный слив масла из МБ турбины необходимо производить в исключительных случаях только после вытеснения водорода из генератора.

## **Проектирование 3D модели**

### **3.1 Постановка задачи**

Для выполнения поставленной задачи необходимо решить несколько немало важных вопросов.

1. Проведение исследовательской работы на тему «Какое программное обеспечение использовать для построение 3D модели»
2. Расчет платформы для более компактной установки энергетических машин.
3. Проведение расчета труб и ее составляющих для дальнейшей прокладки.
4. Компоновка энергетических машин на стенде.
5. Построение 3D модели.

Для построения 3D модели схемы газопровода используется специальное программное обеспечение SOLIDWORKS версии 16.0.

SOLIDWORKS- это система автоматизированного проектирования, преимущественно использующая твердотельное моделирование. Твердотельное моделирование покрывает более 95 процентов всех задач. Для остальных задач используется «поверхностное моделирование». Так же, как и ANSYS имеет встроенные системы для расчетов прочности, симуляции потоков (жидкости,газов), нагрева и многое другое.

Для твердотелого моделирования используется ряд функций.

Основными функциями являются:

- вытянутая бобышка
- повернутая бобышка
- вытянутый вырез
- повернутый вырез
- создание элементов "по траектории"
- создание элементов "по сечениям".

Для использования данных функций используется элемент «эскиз». Определенный эскиз, созданный по всем правилам, имеет темный окрас составляющих линий. Неопределенный эскиз - синие линии. Существует понятие «Недоопределенности эскиза». Данное определение обозначает отсутствие необходимых размеров и привязок к точке нуль. Задать необходимые привязки можно выделив точки либо линии через клавишу «ctrl» и выбрав из списка необходимую привязку. Виды привязок:

- параллельность
- перпендикулярность
- касательность
- симметричность

- коллинеарность
- совпадение
- точки пронзания и другие

Существует еще одно определения эскиза «Переопределенность». Данное определение обозначает, что имеются лишние привязки. Например, для двух симметричных окружностей были заданы размеры на каждую. Для просмотра привязки к конкретной точке либо линии можно кликнув ПКМ по ней.

Solid Works –мощная программа, адаптированная для создания 3D моделей. Инженерных, строительных, архитектурных чертежей или же моделей, незаменимое средство для проектирования компрессорных станций. Интерфейс не усложнен лишними инструментами, прост и приятен в использовании.

### 3.2 Построение 3d модели .

Используя программный комплекс solid works была построена 3d модель компрессорной станции (Рис 3.1).

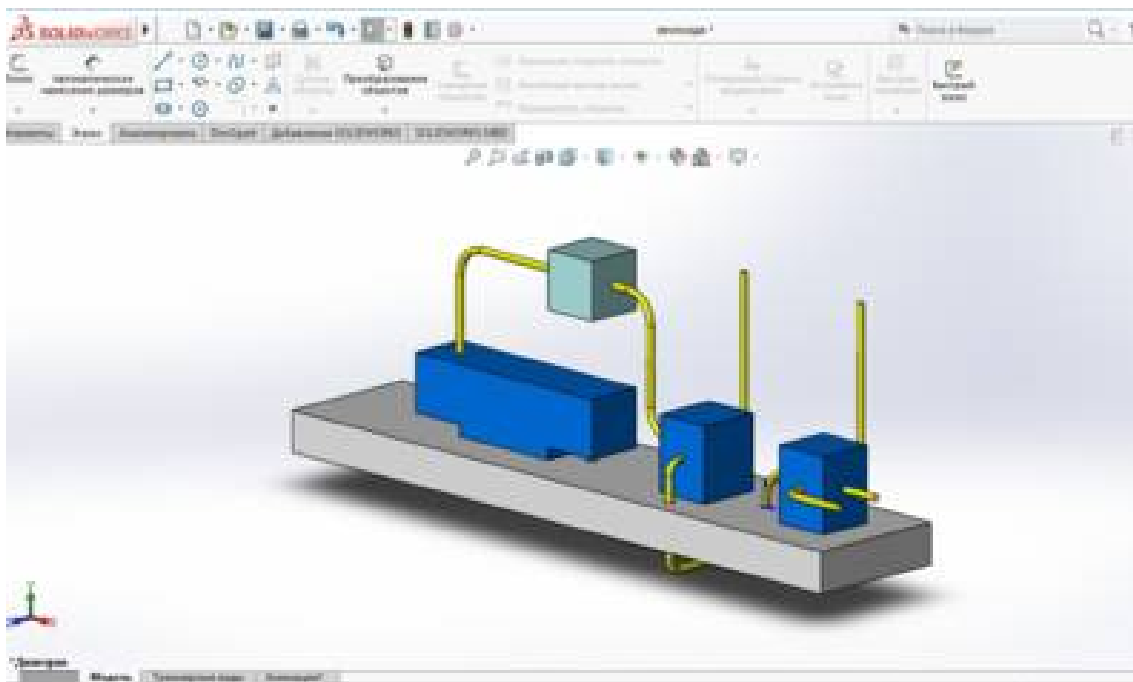


Рис 3.1 Спроектированная 3D модель компрессорной станции используя SolidWorks. Вид Диметрия.

Для размещения компрессорной установки была выбрана из стандартных изделий платформа размеров 1200x2.5. Использование платформа таких размеров позволит разместить все элементы компрессорной станции без нарушения ГОСТ.

Данная платформа находится над землей. Для свободного доступа к энергетическим машинам проектируются лестничные площадки.

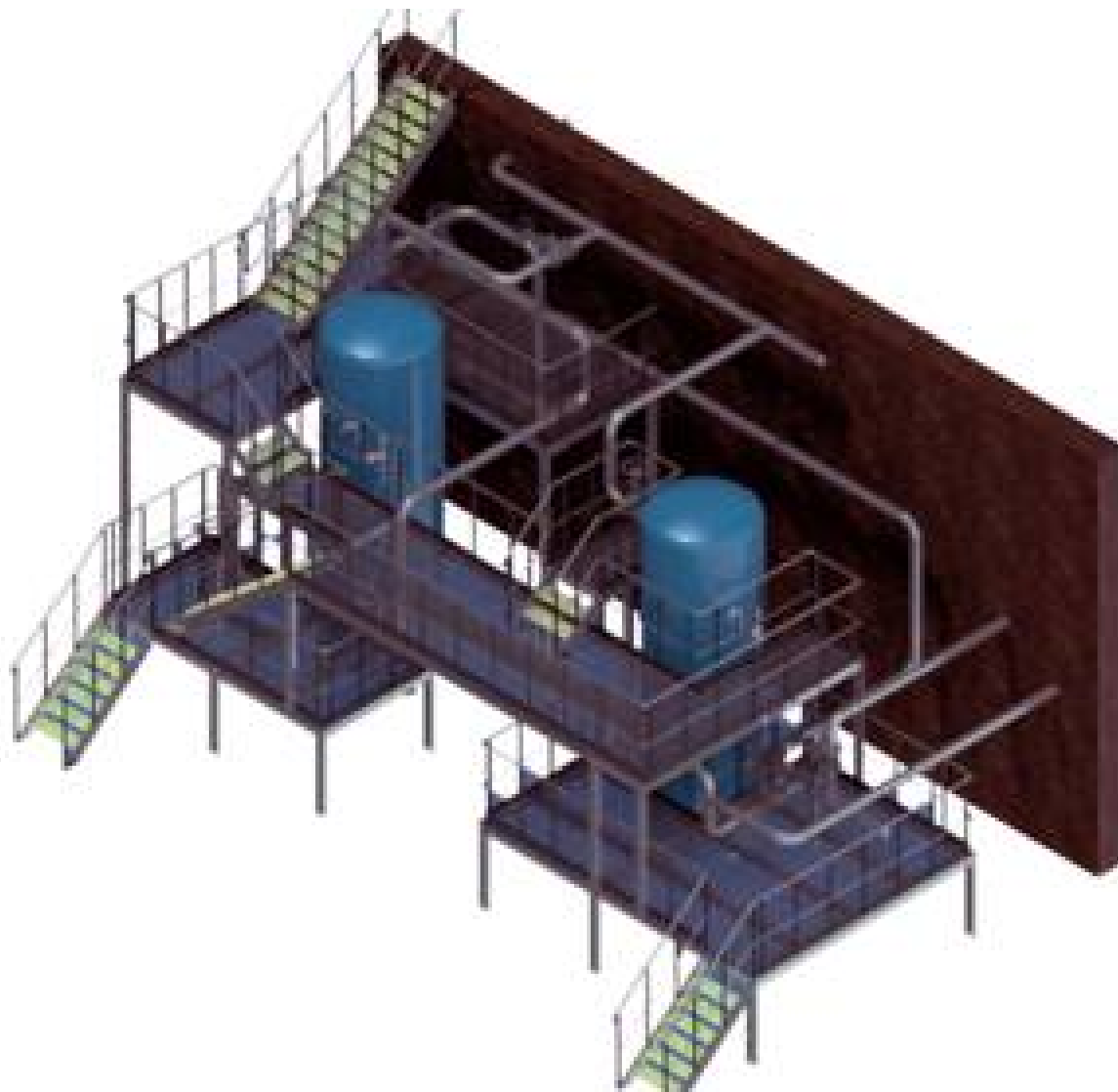


Рис 3.2 Спроектированная 3D модель лестничные площадки для компрессорной станции используя SolidWorks. Вид Диметрия.

Для построение модели газопровода необходимо рассчитать диаметр трубы газопровода.

Расчётное сопротивление металла трубы рассчитывается по формуле:

$$R_1 = \frac{R_1^H \cdot m}{k_1 \cdot k_H} \quad (3.1)$$

где  $R_1^H$  — нормативное сопротивление растяжению (сжатию),



численно равное временному сопротивлению стали на разрыв, МПа

где  $m$  - коэффициент условий работы,

где  $k_I$ -коэффициент надежности по материалу,

где  $k_n$  - коэффициент надежности по назначению.

Рассчитать толщину стенок труб можно по формуле:

$$\delta = \frac{n_p \cdot p \cdot D_H}{2 \cdot (R_1 + n_p \cdot p)} \quad (3.2)$$

где  $p$  - рабочее давление в трубопроводе, МПа;

где  $n_p$  — коэффициент надежности по нагрузке

где  $R_1$ - расчетное сопротивление металла трубы, МПа.

Рассчитать Внутренний диаметр газопровода можно по формуле:

$$D_{вн} = D_H - 2\delta_n \quad (3.3)$$

Для построение 3D модели в комплексной программе Solid Works газопровода принимаем трубы из стандартных изделий Челябинского трубного завода, изготовленные по ТУ 14-3-1938-2000 из стали 10Г2ФБ.

## Заключение

В результате работы была проанализирована и исследована установка, состоящая из нескольких турбонаддувов, газовых турбин и поршневого компрессора. В результате проведенного исследования были подобраны составляющие масляной системы. Так же, в результате исследования, выяснили, что установка расходует масло, поэтому должна иметь достаточное количество смазывающего материала.

Проектирование схемы проводилось в программном комплексе КОМРАС 3D v18.0. Описаны рекомендации по возможному упрощению проводимой работы. Данный фактор особо актуален для предприятий, где проектирование теплофикационных схем занимает одно из важнейших мест. Определено достаточное количество масляных охладителей, позволяющих качественно и грамотно охладить весь объем смазывающего устройства.

В данной работе основной задачей было расчет каждого элемента установки и построение схемы маслоснабжения с помощью программного комплекса. Данная цель была достигнута. При этом стоит отметить, что была проведена исследовательская работа, в ходе которой было подобрано турбинное масло.

Можно сделать вывод, что программный комплекс КОМРАС 3D 18.0 применим для проектирования схем любой сложности, имеет массу преимуществ перед аналогичными программами. Версия 18.0 значительно ускоряет проделанную работу.

Для построения 3D модели компрессорной станции использовался программный комплекс Solid Works. Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что данное ПО прекрасно подходит для выполнения поставленной задачи. Использование библиотек и стандартных изделий

**БОЛЬШЕ ИНФОРМАЦИИ ПО КОМПРЕССОРНОЙ ТЕХНИКЕ СМОТРИТЕ НА [WWW.KVINT.RU](http://WWW.KVINT.RU)**

внутри программы значительно упрощает воплощение в жизнь инженерных идей.

## Приложения

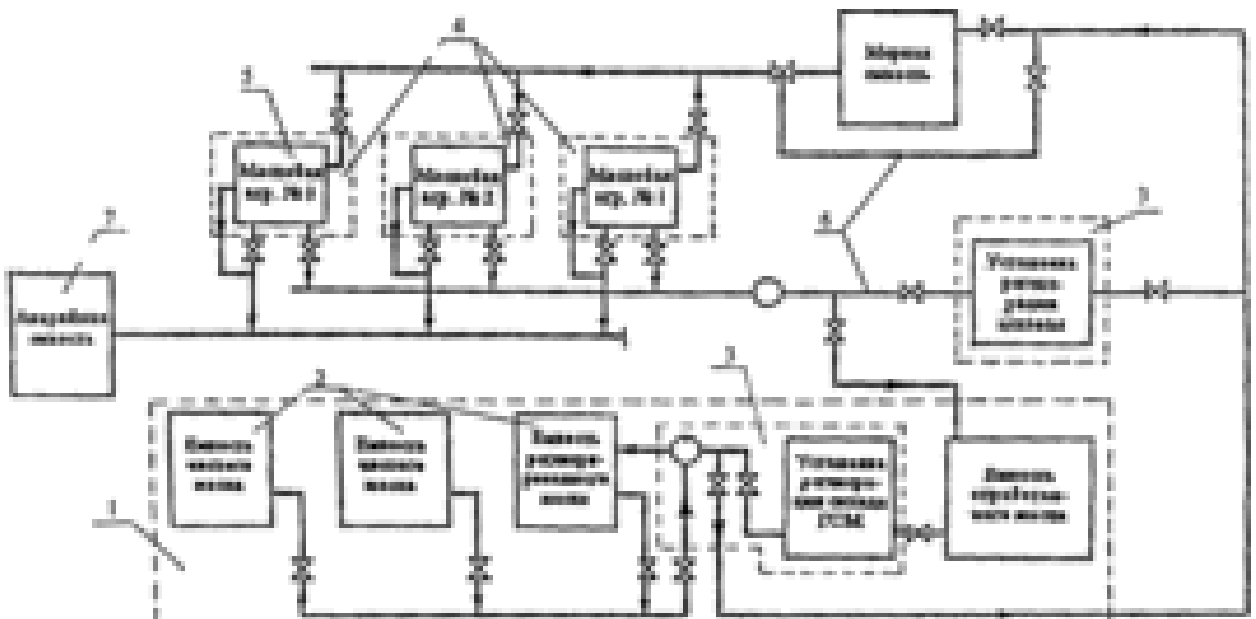


Рис.3.1 Общецеховая маслосистема

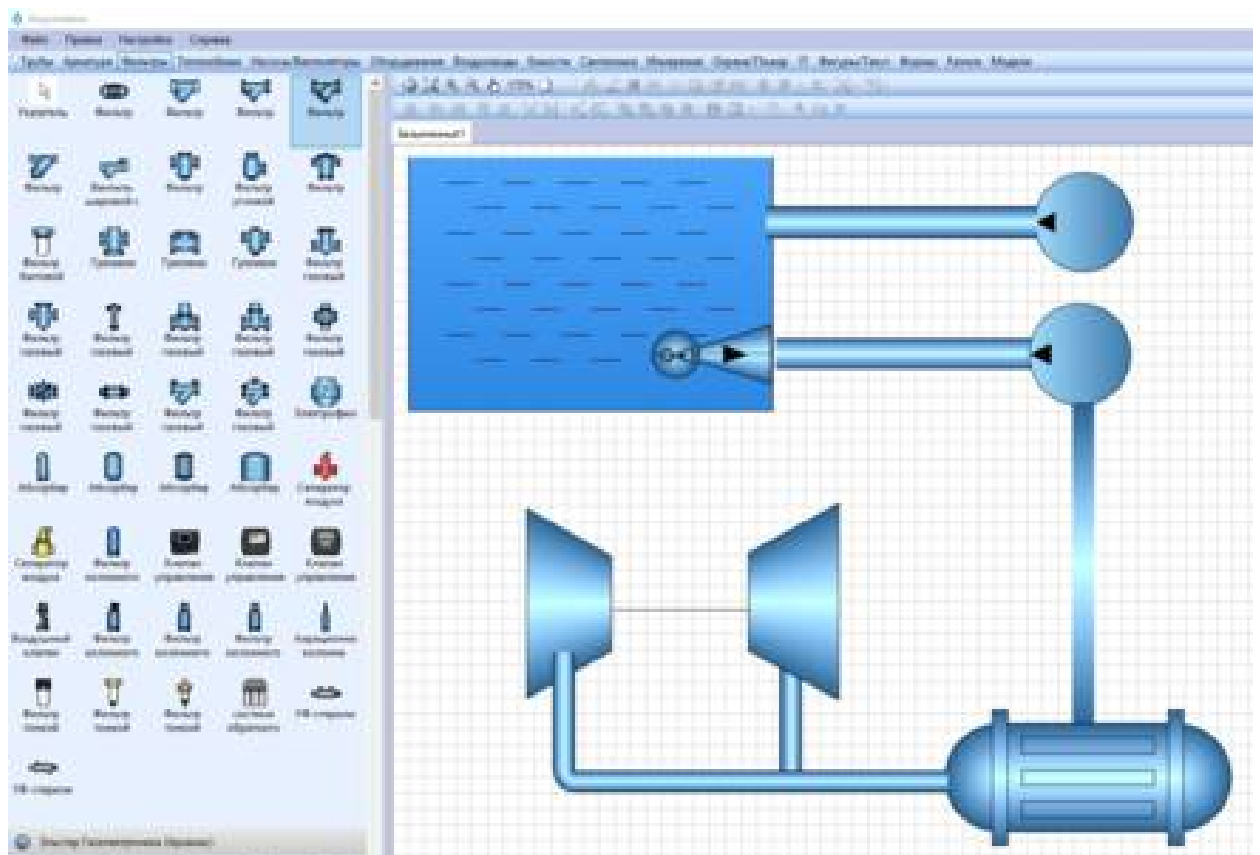


Рис.3.2 Интерфейс Easymneto

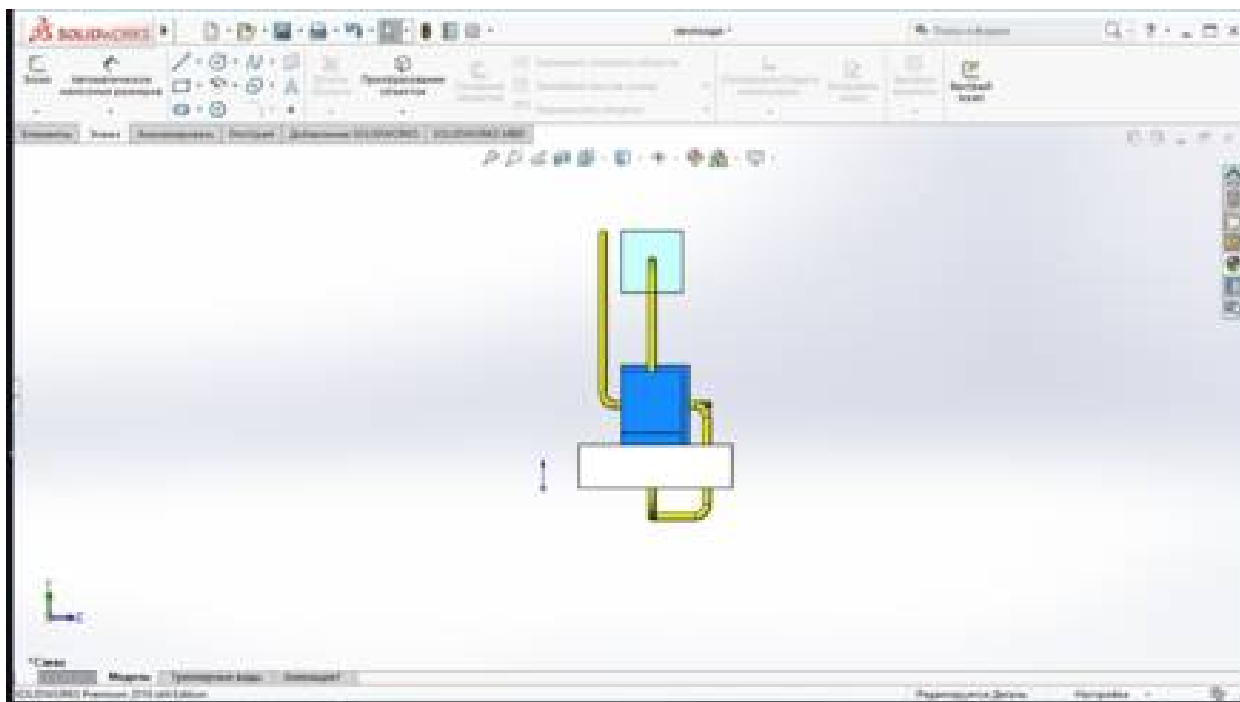


Рис.3.3 Спроектированная 3D модель компрессорной станции используя SolidWorks. Вид Y-Z.

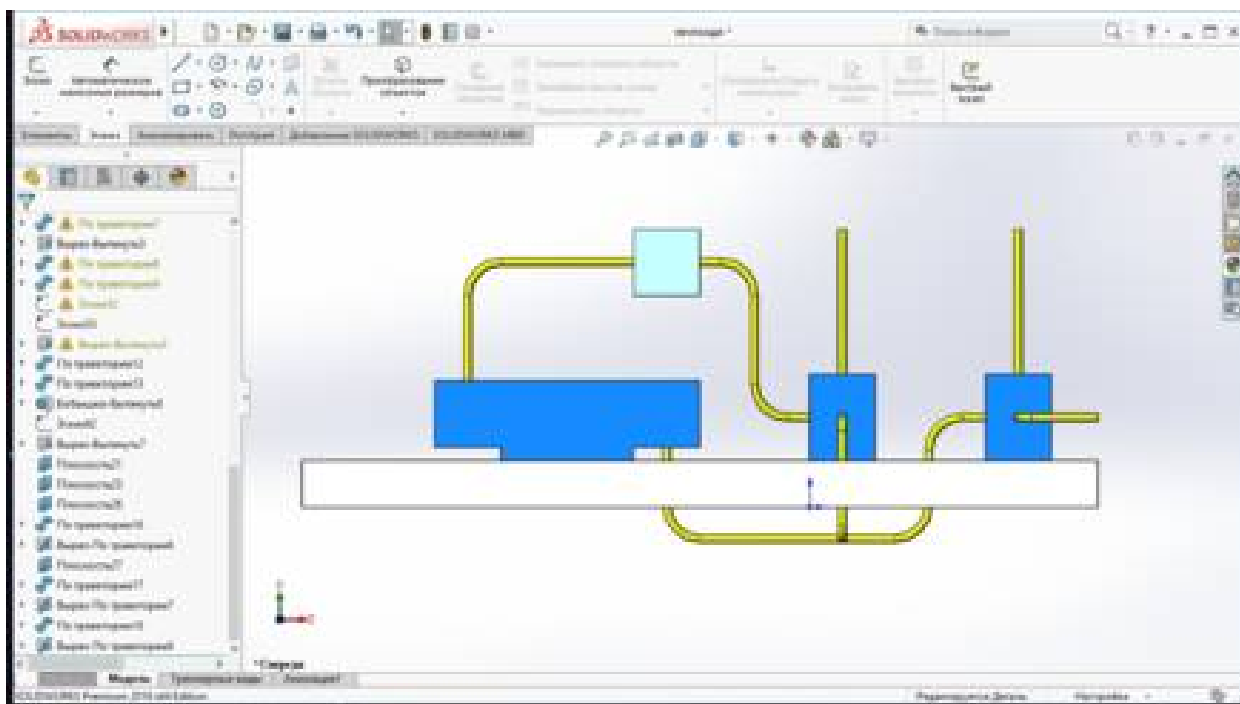


Рис.3.4 Спроектированная 3D модель компрессорной станции используя SolidWorks. Вид Y-X.

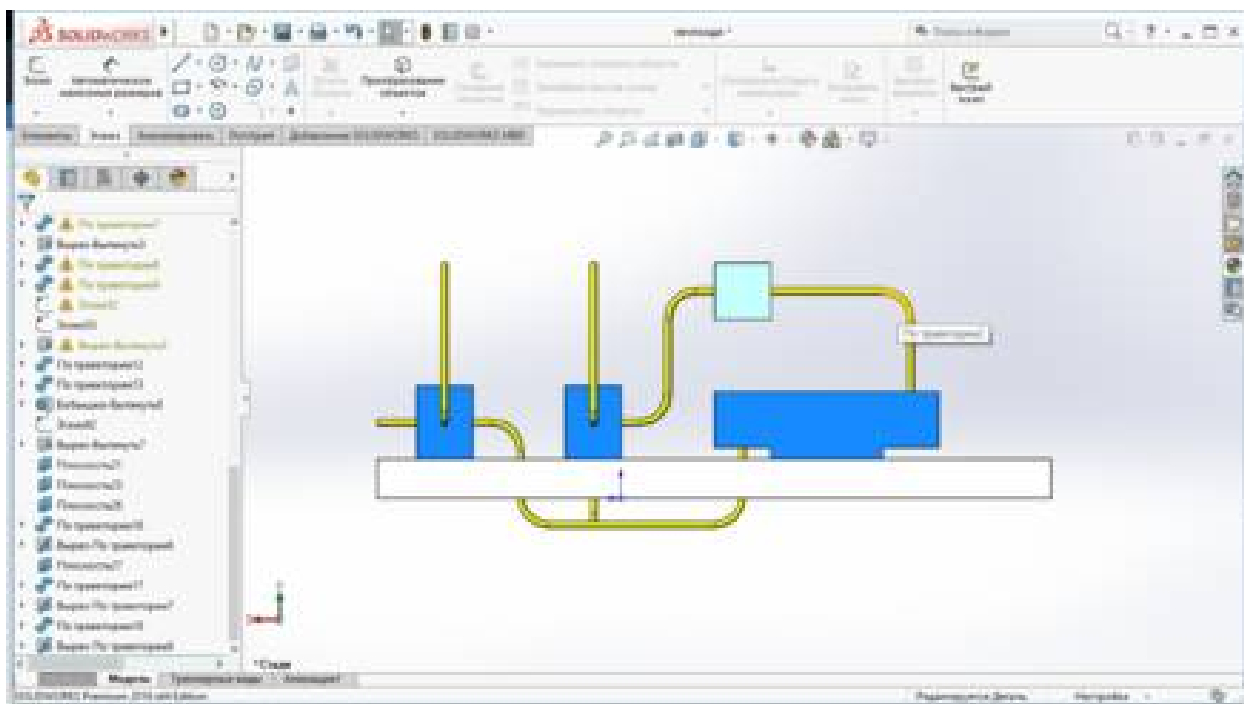


Рис.3.5 Спроектированная 3D модель компрессорной станции используя SolidWorks. Вид X-Y.

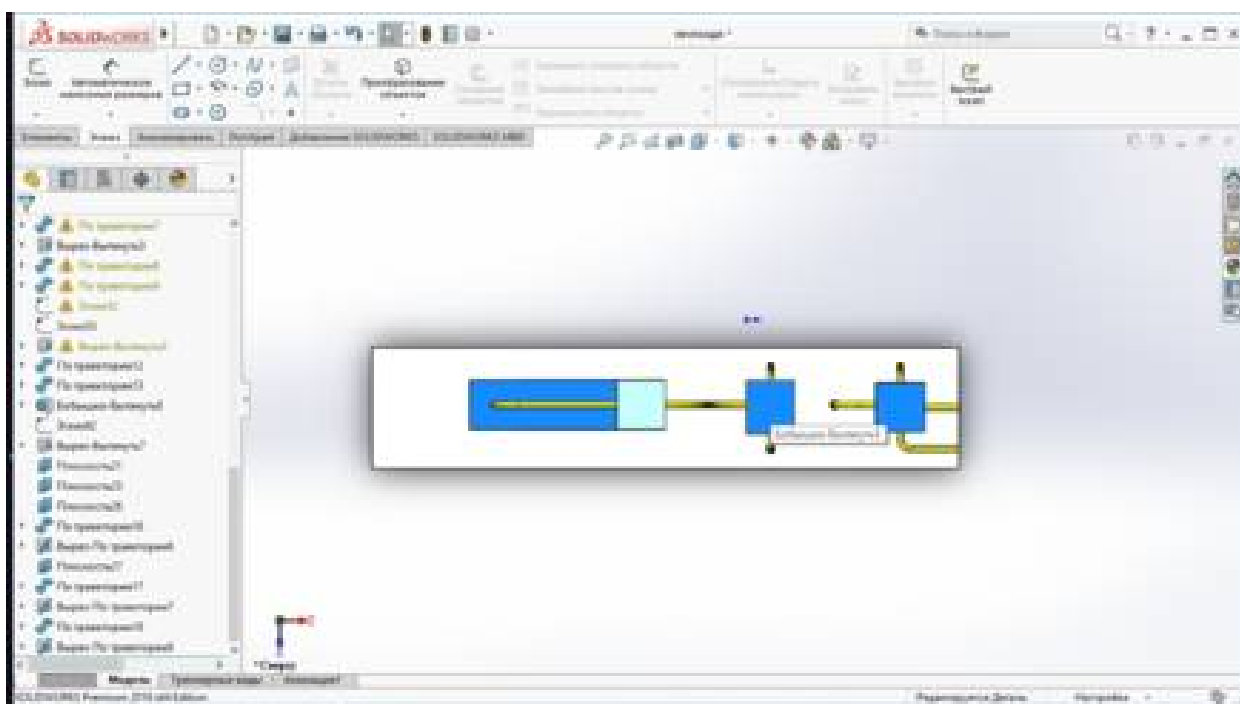


Рис.3.6 Спроектированная 3D модель компрессорной станции используя SolidWorks. Вид X-Z.

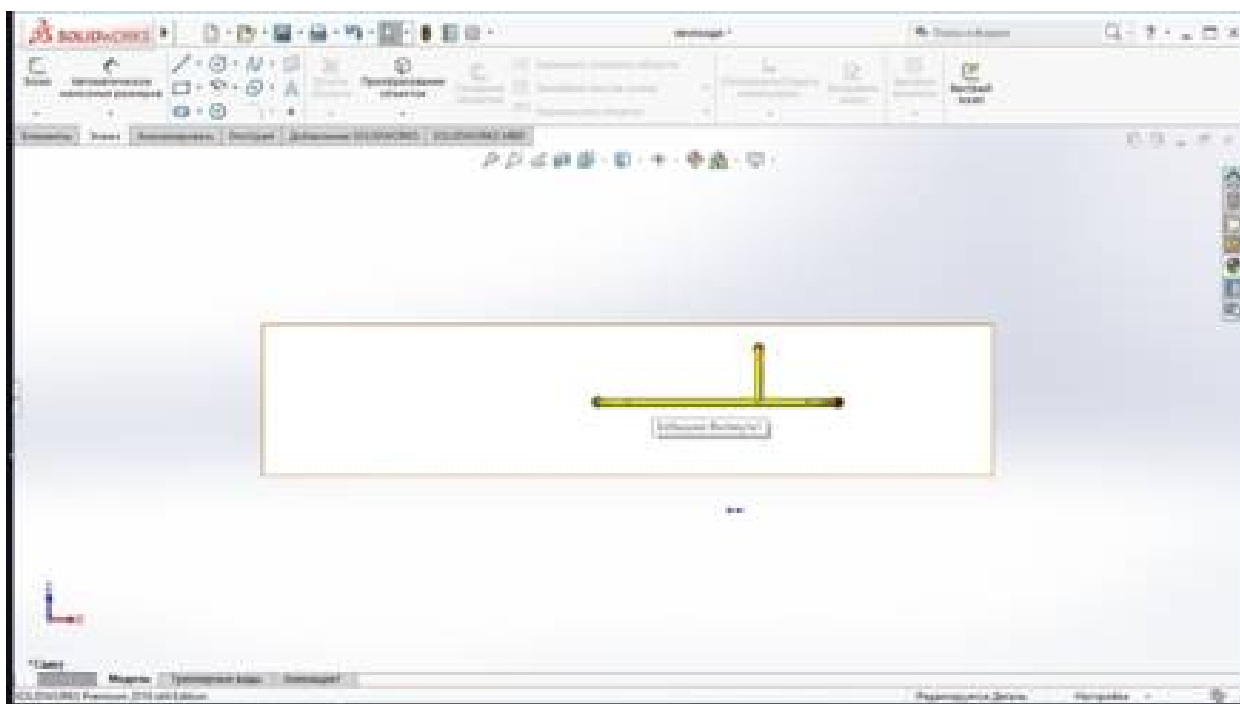


Рис.3.7 Спроектированная 3D модель компрессорной станции используя SolidWorks. Вид Z-X.

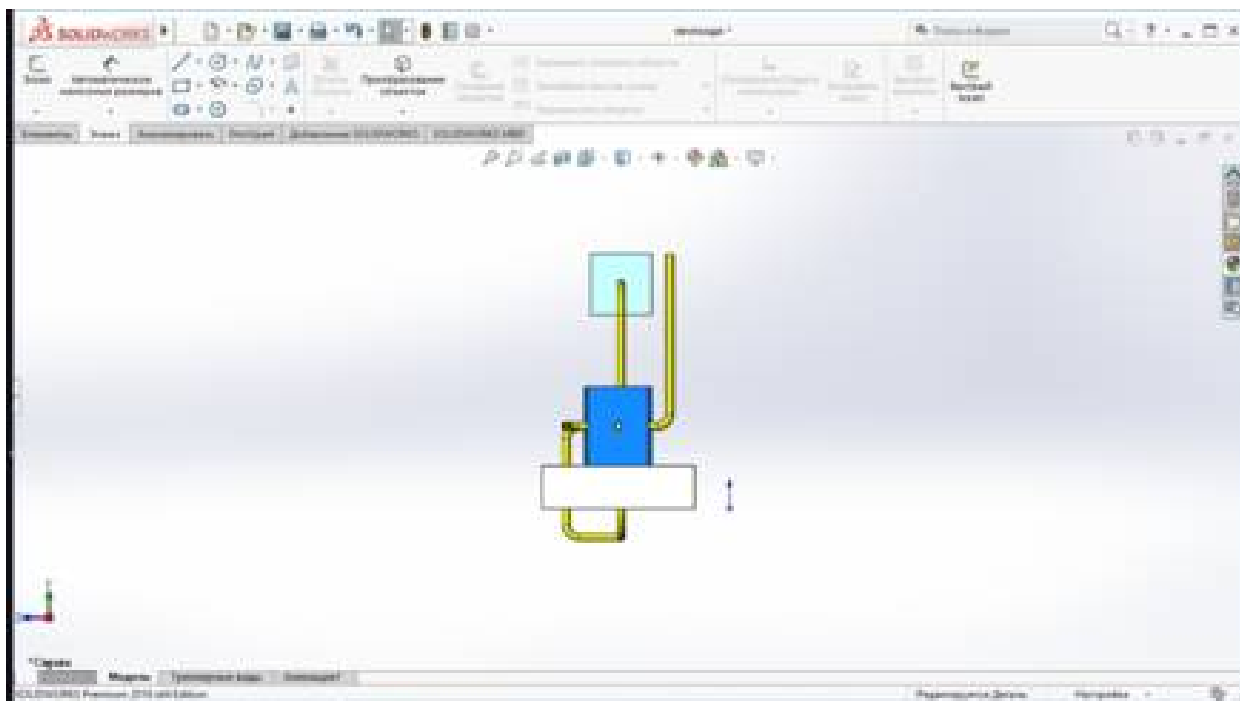


Рис.3.8 Спроектированная 3D модель компрессорной станции используя SolidWorks. Вид Z-Y.



## ИЗОЛЯЦИЯ ГАЗОПРОВОДА



Рис.3.9 Изоляция газопроводов

### Характеристика турбинного масла марки Тп-22С

Показатель	Норма
Кинематическая вязкость при температуре 500С, с Ст	20-30
Индекс вязкости (определение обязательно), не менее	90
Кислотное число, мг КОН на 1 г. масла, не более	0,05
Стабильность против окисления: - массовая доля осадка после окисления;	Отсутстви е
- кислотное число после окисления, мг КОН на 1 г масла, не более;	
низкомолекулярные кислоты, мг КОН на 1 г	0,02
Зольность базового масла, % не более	0,05
Число дезмульсации, С, не более	0,05

Таблица 3.1 Характеристики турбинного масла марки ТП-22

### Список используемой литературы

1. [http://www.compressormash.ru/products/by\\_industry/gas\\_industry/gas\\_injection\\_and\\_storage/?recentPosts1=Y](http://www.compressormash.ru/products/by_industry/gas_industry/gas_injection_and_storage/?recentPosts1=Y)
2. [https://www.howden.com/Howden/media/Howden/brochures/DivBrochureCompressors\\_Aug2016.pdf](https://www.howden.com/Howden/media/Howden/brochures/DivBrochureCompressors_Aug2016.pdf)
3. <http://www.explotex.com/ru/?id=48>
4. Kiryill Kabalyk, Władysław Kryłowicz. Numerical modeling of the performance of a centrifugal compressor impeller with low inlet flow coefficient ISSN 0079-3205 Transactions IFFM 131(2016) 97–109
5. А.М. Яблоков, Ю.В. Кожухов, А.А. Лебедев Численное моделирование течения в малорасходной ступени центробежного компрессора DOI 10.5862/JEST.231.7 2015г.
6. Диссертация [ССЫЛКА?](#)
7. [www.kompas.ru](http://www.kompas.ru)
8. [https://supercomputer.susu.ru/users/instructions/cfx\\_arch/](https://supercomputer.susu.ru/users/instructions/cfx_arch/)
9. <https://vmasshtabe.ru>
10. [http://solidworks2019.igatec.com/?utm\\_source=yandex\\_direct&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=HF&utm\\_content=solidworks2019&utm\\_term=solidworks&yclid=3420203970352680986](http://solidworks2019.igatec.com/?utm_source=yandex_direct&utm_medium=cpc&utm_campaign=HF&utm_content=solidworks2019&utm_term=solidworks&yclid=3420203970352680986)
- 11.