

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева»**

ИНСТИТУТ	<u>Информатики и телекоммуникаций</u>
НАПРАВЛЕНИЕ	<u>09.03.02 «Информационные системы и технологии»</u>
ПРОФИЛЬ	<u>Информационные системы в нефтегазовой отрасли</u>
КАФЕДРА	<u>Информатики и вычислительной техники</u>

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
Вид ВКР: бакалаврская работа

Разработка информационной системы для расчета и
подбора дополнительного оборудования
для ректификационной установки непрерывного
действия для нефтеперерабатывающего завода

Обучающийся

Ф.Д. Мустафаев

инициалы и фамилия

Руководитель

А.А. Попов

инициалы и фамилия

Ответственный
за нормоконтроль

И.М. Горбаченко

инициалы и фамилия

Допускается к защите
Заведующий кафедрой ИВТ

М.Н. Фаворская

инициалы и фамилия

« ____ » _____ 2024 г.

Красноярск 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева»

Институт информатики и телекоммуникаций
Кафедра информатики и вычислительной техники

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ИВТ

_____ М.Н. Фаворская
подпись инициалы, фамилия

«___» _____ 2024 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу (ВКР)
в форме бакалаврской работы

Обучающийся _____ Мустафаев Фэган Джейхунович
Фамилия Имя Отчество

Группа _____ БИН20-01 _____ Направление _____ 09.03.02
«Информационные системы и технологии»

Тема ВКР _____ Разработка информационной системы для расчета
и подбора дополнительного оборудования ректификационной
установки непрерывного действия для нефтеперерабатывающего завода
утверждена приказом по университету от «15 » марта 2024 г. № _____

Руководитель ВКР _____ Попов Анатолий Анатольевич, доцент
Инициалы, Фамилия, ученая степень, ученое звание, должность и место работы

Исходные данные для ВКР _____ Создание программ в
среде разработки *Visual studio*, подбор и расчет дополнительное
оборудование ректификационной установки,

Перечень разделов ВКР _____ Введение, анализ предметной области,
проектирование программы, разработка программы, заключение

Перечень графического материала (с указанием обязательных
чертежей при необходимости) _____

Срок сдачи обучающимся первого варианта ВКР _____ 28.05.2024
Срок сдачи обучающимся окончательного варианта ВКР _____ 26.06.2024

Руководитель ВКР _____ А. А. Попов

Задание принял к исполнению _____ Ф.Д. Мустафаев
«___» _____ 2024 г.

АННОТАЦИЯ

к выпускной квалификационной работе

«Разработка информационной системы для расчета и подбора дополнительного оборудования ректификационной установки для нефтеперерабатывающего завода»

Мустафаев Фэган Джейхунович

Ключевые слова: насосы, теплообменники, информационная система, ректификационная установка, расчет и подбор.

Целью данной работы является автоматизация расчета и подбора дополнительного оборудования ректификационной установки на основе разработанного программного продукта.

Данная выпускная квалификационная работа содержит пояснительную записку из 49 страниц текста, 31 рисунков, 5 таблиц, 24 использованных источников.

В первой главе рассмотрена предметная область, анализ существующих программных продуктов и выбор инструментальных средств для управления базами данных. Вторая глава посвящена концептуальному, логическому и физическому проектированию, определению функциональных требований и проектированию интерфейса. Третья глава описывает разработку программы, а также тестирование программы. В заключении делаются выводы о выполнении поставленных задач и достижении цели.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	7
1.1 Центробежные насосы	7
1.2 Теплообменные аппараты	9
1.3 Вспомогательные оборудование в ректификационных установках..	11
1.4 Анализ существующих программных продуктов.....	13
1.5 Выбор инструментального средства реализации систем управления базами данных	20
1.6 Вывод по главе.....	21
2 ПРОЕКТНАЯ ЧАСТЬ	22
2.1 Концептуальное проектирование	22
2.2 Логическое проектирование	23
2.3 Физический этап проектирования	25
2.4 Определение функциональных требований к программе	26
2.5 Проектирование интерфейса	29
2.6 Вывод по главе.....	31
3. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ	32
3.1 Определение структуры и состава программы	Ошибка! Закладка не определена.
3.2 Структура программы	32
3.3 Руководство программиста.....	42
3.4 Руководство пользователя	43
3.5 Тестирование программы	48
3.6 Вывод по главе.....	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	50
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	51

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. В современном мире информационные системы играют решающую роль в нефтегазовой отрасли, обеспечивая эффективное управление различными аспектами добычи, переработки и распределения нефти и газа. Они оказывают влияние на все этапы производственного цикла – от геологоразведки до поставки конечных продуктов потребителям.

Одним из ключевых аспектов актуальности информационных систем в нефтегазовой отрасли является их способность обеспечивать эффективное управление производственными процессами и оборудованием. Важно иметь системы мониторинга и контроля, которые позволяют оперативно реагировать на изменения в работе оборудования и предотвращать аварии или простои в производстве.

Кроме того, информационные системы играют важную роль в геологоразведке и добыче нефти и газа. Они помогают анализировать геологические данные, моделировать месторождения, прогнозировать запасы и оптимизировать процессы добычи. Это позволяет компаниям эффективно использовать ресурсы и повышать производительность.

Еще одним аспектом актуальности информационных систем в нефтегазовой отрасли является их роль в сборе, обработке и анализе данных. С развитием технологий добычи и переработки нефти и газа объемы данных постоянно увеличиваются. Информационные системы помогают эффективно управлять этими данными, делая их доступными для анализа и принятия решений.

Таким образом, информационные системы играют незаменимую роль в современной нефтегазовой отрасли, обеспечивая эффективное управление производственными процессами, оптимизацию добычи и переработки, а также обработку и анализ данных для принятия стратегических решений. В условиях динамичной и конкурентной отрасли, их актуальность будет только возрастать.

Цели и задачи. Целью выпускной квалификационной работы является автоматизация расчета и подбора дополнительного оборудования ректификационной установки непрерывного действия для нефтеперерабатывающего завода.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучение центробежных насосов;
- изучение теплообменных аппаратов;
- изучение вспомогательного оборудования в ректификационных установках;
- определить функциональные требования к программе;
- разработать интерфейс пользователя;

- определить структуру программы;
- составить руководство программиста и пользователя;
- провести тестирование разработанной программы.

Структура работы. Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе состоит из введения, 3 глав, заключения и списка использованных источников из 24 наименований. Изложена на 49 страницах и содержит 32 рисунка, 5 таблиц.

В первой главе рассмотрены центробежные насосы, теплообменные аппараты и вспомогательное оборудование в ректификационных установках. Также анализируются существующие программные продукты и выбирается инструментальное средство для реализации систем управления базами данных.

Во второй главе описывается проектная часть, включающая концептуальное, логическое и физическое проектирование, определение функциональных требований к программе и проектирование интерфейса.

В третьей главе представлена разработка программы, включая структуру и состав, руководство программиста и пользователя, а также тестирование программы.

В заключении подводятся итоги выполнения задач и анализируется эффективность процессов в условиях использования предложенного ПО.

1 АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Центробежные насосы

Центробежные насосы – это механизмы, предназначенные для перекачивания жидкостей. Они широко используются в различных промышленных, коммерческих и даже бытовых приложениях для перекачивания воды, химических растворов, нефтепродуктов, жидких удобрений и других подобных жидкостей [1].

Принцип работы центробежного насоса основан на использовании центробежной силы для создания давления, необходимого для перемещения жидкости через насос. Внутри насоса находится ротор или колесо, которое вращается с высокой скоростью. При вращении ротора жидкость втягивается в насос и затем выталкивается через выпускное отверстие на большей скорости и с повышенным давлением.

Преимущества центробежных насосов включают их высокую эффективность, компактные размеры, простоту обслуживания и широкий спектр применения. Они могут работать с различными типами жидкостей и обеспечивать высокую производительность.

Однако у центробежных насосов есть и недостатки. Например, они могут быть чувствительны к изменениям в составе перекачиваемой жидкости и требуют правильной установки и обслуживания для поддержания оптимальной производительности.

Центробежные насосы являются одними из наиболее распространенных и важных механизмов в промышленности и бытовом использовании. Они основаны на принципе центробежной силы, которая возникает благодаря вращению рабочего колеса или ротора. Когда жидкость поступает в насос через входное отверстие, она подвергается действию центробежной силы, что приводит к ее ускорению и перемещению по направлению к периферии насоса. Затем жидкость выбрасывается через выходное отверстие [2].

Центробежные насосы используются в широком спектре областей, включая системы водоснабжения и водоотведения, отопление, вентиляцию и кондиционирование воздуха, промышленные процессы, нефтегазовую промышленность, химическую промышленность, энергетику и многие другие. Они эффективно перекачивают различные жидкости, включая воду, нефть, химические растворы, агрессивные жидкости и другие материалы.

Подбор центробежного насоса осуществляется на основе требуемого расхода и давления жидкости, характеристик трубопроводной системы, физических и химических свойств перекачиваемой среды, а также особенностей условий эксплуатации. Расчеты проводятся с учетом гидравлических

потерь, эффективности насоса, мощности привода и других факторов для обеспечения оптимальной работы системы [3].

Современные центробежные насосы используют передовые технологии, такие как переменные частотные приводы, интеллектуальные системы контроля и диагностики, а также материалы с высокой стойкостью к износу и коррозии. Это позволяет повысить эффективность работы насосов, снизить энергопотребление и улучшить надежность систем.

С развитием автоматизации и цифровизации центробежные насосы становятся частью интегрированных систем управления, которые могут автоматически регулировать работу насосов в зависимости от изменяющихся условий процесса. Это позволяет оптимизировать работу системы, экономить энергию и обеспечивать стабильную производительность.

В центробежном насосе [4], представленном на рисунке 1 жидкость из всасывающего трубопровода 1 поступает вдоль оси рабочего колеса 2 в корпус 3 насоса и, попадая на лопатки 4, приобретает вращательное движение.

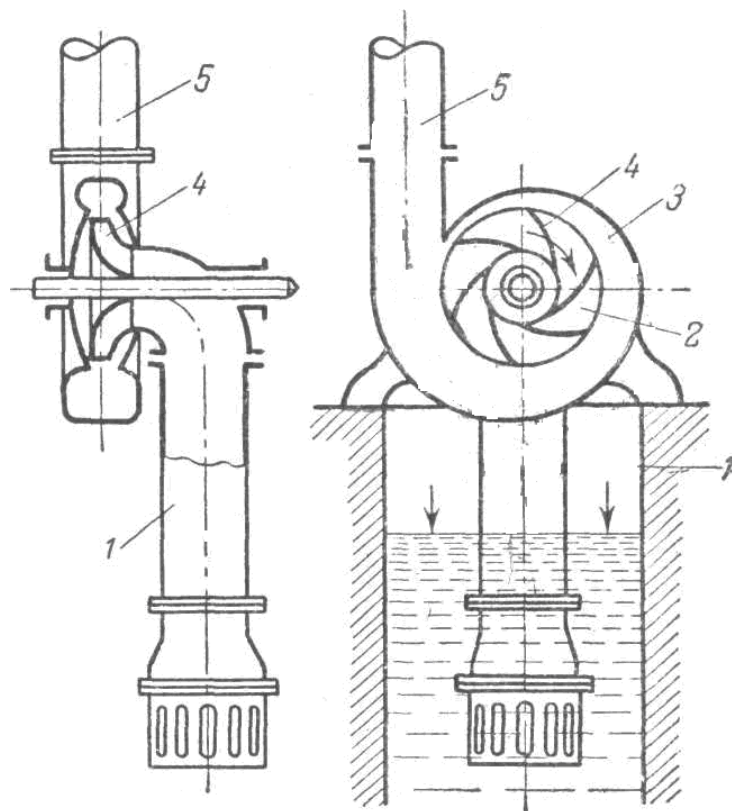


Рисунок 1 – схема центробежного насоса

где 1 – всасывающий трубопровод;
2 – рабочее колесо;
3 – корпус;
4 – лопатки;
5 – нагнетательный.

Центробежная сила отбрасывает жидкость в канал переменного сечения между корпусом и рабочим: колесом, в котором скорость жидкости

уменьшается до значения равного скорости в нагнетательном трубопроводе 5. При этом, как следует из уравнения Бернулли, происходит преобразование кинетической энергии потока жидкости в статический напор, что обеспечивает повышение давления жидкости. На входе в колесо создается пониженное давление, и жидкость из приёмной емкости непрерывно поступает в насос. Давление, развиваемое центробежным насосом, зависит от скорости вращения рабочего колеса. Вследствие значительных зазоров между колесом и корпусом насоса разрежение, возникающее при вращении колеса, недостаточно для подъема жидкости по всасывающему трубопроводу, если он и корпус насоса не залиты жидкостью. Поэтому перед пуском центробежный насос заливают перекачиваемой жидкостью. Чтобы жидкость не выливалась из насоса и всасывающего трубопровода при заливке насоса или при кратковременных остановках его, на конце всасывающей трубы, погруженной в жидкость, устанавливают обратный клапан, снабженный сеткой (на рисунке не показан).

Напор одноступенчатых центробежных насосов (с одним рабочим колесом) ограничена и не превышает 50 м. Для создания более высоких напоров применяют многоступенчатые насосы, имеющие несколько рабочих колес в общем корпусе расположенных последовательно на одном валу [5].

Жидкость, выходящая из первого колеса, поступает по специальному отводному каналу, в корпусе насоса во второе колесо (где ей сообщается дополнительная энергия), из второго колеса через отводной канал в третье колесо и так далее. Таким образом, ориентировочно (без учета потерь) можно считать, что напор многоступенчатого насоса равен напору одного колеса, умноженному на число колес. Число рабочих колес в многоступенчатом насосе обычно не превышает пяти.

1.2 Теплообменные аппараты

Теплообменные аппараты играют важную роль в многих процессах, где требуется передача тепла между двумя средами. Они используются для охлаждения или нагрева жидкостей и газов в системах отопления, кондиционирования воздуха, в производственных процессах и в энергетических установках [6].

Принцип работы теплообменных аппаратов основан на создании максимальной поверхности контакта между теплоносителями, что позволяет эффективно передавать тепло от одной среды к другой. Это может осуществляться через стенки, разделяющие две среды (пластины, трубы, оболочки), или путем прямого контакта сред (например, в кожухотрубных теплообменниках).

Преимущества теплообменных аппаратов включают их высокую эффективность, надежность в работе и возможность адаптации к различным условиям и требованиям производства. Они могут быть изготовлены из

различных материалов, таких как нержавеющая сталь, алюминий, медь, что обеспечивает широкий спектр применения в различных отраслях.

Однако теплообменные аппараты также имеют свои недостатки. К ним относятся высокие затраты на проектирование, изготовление и установку, а также необходимость регулярного обслуживания и очистки для поддержания эффективности работы [7].

Теплообменники – это устройства, предназначенные для передачи тепла между двумя средами без их смешивания. Они играют ключевую роль в различных технических процессах, включая отопление, охлаждение, кондиционирование воздуха, тепловые электростанции, химическую промышленность и другие. Принцип работы теплообменников основан на теплопередаче от одной среды к другой через поверхность, разделяющую их.

Теплообменники используются в различных отраслях промышленности и быта для регулирования температуры среды, охлаждения или нагрева жидкостей и газов, конденсации паров, обогрева воздуха и многих других целей. Они применяются в котельных системах, кондиционерах, холодильных установках, тепловых насосах, оборудовании для производства пищевых продуктов и так далее [8].

Подбор теплообменника зависит от нескольких факторов, включая требуемую тепловую мощность, температурные режимы сред, характеристики теплоносителей, гидравлические параметры и геометрические ограничения. Расчеты включают определение площади теплообмена, выбор типа пластин, трубчатых или пластинчатокожухотрубных теплообменников, а также определение коэффициентов теплопередачи и гидравлического сопротивления [9].

Современные теплообменники интегрируют передовые технологии, такие как ламельные пластины с турбулизаторами для увеличения эффективности теплообмена, автоматизированные системы управления для оптимизации работы, а также использование специализированных материалов для повышения стойкости к коррозии и износу [10].

С развитием цифровых технологий теплообменники становятся частью автоматизированных систем управления, которые могут контролировать и регулировать процессы теплообмена в реальном времени. Это позволяет оптимизировать энергопотребление, обеспечивать стабильную производительность и предотвращать аварийные ситуации.

Современные теплообменники обладают высокой энергоэффективностью и могут использовать возобновляемые источники энергии для теплоснабжения. Они также способствуют снижению выбросов загрязняющих веществ благодаря использованию чистых и эффективных технологий теплопередачи.

1.3 Вспомогательные оборудование в ректификационных установках

В современной промышленности и заканчивая пищевой и фармацевтической. Внутри ректификационных установок ключевую роль играет вспомогательное оборудование, такое как кипятильники, дефлегматоры, холодильники и подогреватели. Каждый из этих элементов выполняет свою функцию в процессе разделения компонентов жидкой смеси.

1. Кипятильник ректификационной установки:

Кипятильник – это часть ректификационной установки, предназначенная для нагрева смеси жидкостей до температуры кипения. Этот процесс позволяет начать испарение и разделение компонентов смеси на легкие и тяжелые фракции. Обычно кипятильники оснащены системами нагрева, которые поддерживают необходимую температуру в колонне. Контроль температуры играет важную роль в эффективности процесса ректификации, и кипятильники обеспечивают этот контроль [11].

Расположение выносного кипятильника представлен на рисунке 2.

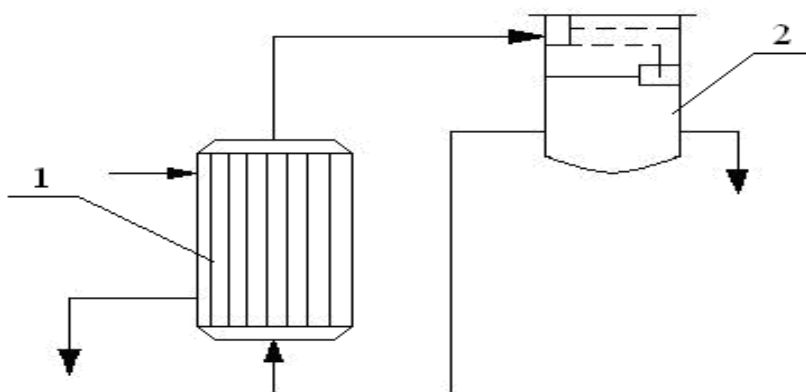


Рисунок 2 – расположение выносного кипятильника

где 1 – кипятильник;

2 – ректификационная колонна.

2. Дефлегматор:

Дефлегматор – это устройство, используемое для конденсации паров, поднимающихся вверх по колонне ректификационной установки. Когда пары контактируют с охлажденными поверхностями дефлегматора, они конденсируются и превращаются обратно в жидкость. Это позволяет уменьшить содержание легких компонентов в возвращаемом потоке, что улучшает эффективность процесса разделения [12].

В случае полной конденсации паров в дефлегматоре его устанавливают выше колонны, непосредственно на колонне (Рисунок 3, а) или ниже верха колонны (Рисунок 3, б) для того, чтобы уменьшить общую высоту установки.

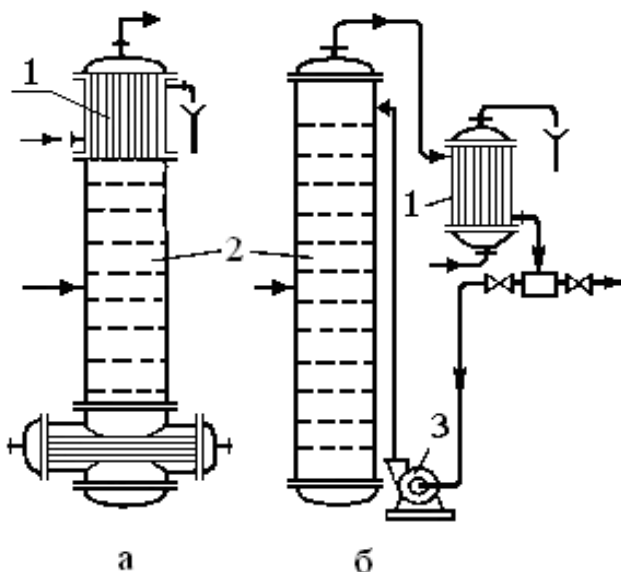


Рисунок 3 – Варианты установки дефлегматоров

где а – на колонне;

б – ниже верха колонны;

1 – дефлегматоры;

2 – колонны;

3 – насос.

3.Холодильник для дистиллята:

Холодильники для дистиллята используются для охлаждения дистиллята жидкости, полученной после прохождения через колонну ректификационной установки. Охлаждение приводит к конденсации паров и сбору дистиллята в жидком виде. Это позволяет отделить чистые компоненты от остаточных паров, обеспечивая более высокую степень очистки [13].

4. Холодильник для кубового остатка:

Холодильники для кубового остатка предназначены для охлаждения остаточной смеси, которая не прошла дистилляцию и осталась в нижней части колонны. Охлаждение помогает сконденсировать остаточные пары и собрать их для дальнейшего использования или утилизации [13].

5. Подогреватель исходной смеси:

Подогреватель исходной смеси играет ключевую роль в процессе ректификации, обеспечивая начальную температуру для инициирования испарения и разделения компонентов смеси в колонне. Это устройство предназначено для нагрева входящей в колонну сырьевой смеси до оптимальной рабочей температуры. Подогрев происходит обычно за счет теплового обмена с нагретыми потоками воздуха или пара. Поддержание стабильной и контролируемой температуры в подогревателе обеспечивает оптимальные условия для процесса ректификации, повышая его эффективность и качество конечного продукта [13].

Вспомогательное оборудование, такое как кипятильники, дефлегматоры, холодильники и подогреватели, играет ключевую роль в обеспечении эффективности и качества процесса ректификации. Каждый элемент выполняет свою функцию, начиная от нагрева и поддержания температуры до конденсации и охлаждения различных фракций смеси. Важно правильно выбирать, устанавливать и обслуживать это оборудование для оптимизации процесса производства и получения высококачественной продукции.

Надлежащее функционирование вспомогательного оборудования обеспечивает не только эффективность процесса разделения компонентов жидкой смеси, но и снижает вероятность сбоев и простоев в работе ректификационных установок. Кроме того, правильная эксплуатация и обслуживание этого оборудования способствует сохранности его работоспособности на длительный срок, что является важным аспектом обеспечения непрерывности производственного процесса. Таким образом, вспомогательное оборудование играет неотъемлемую роль в производстве и обеспечивает высокое качество конечной продукции.

1.4 Анализ существующих программных продуктов

На сегодняшний день существует обширный ассортимент программного обеспечения, разработанного для эффективного подбора оптимальных центробежных насосов и теплообменных аппаратов в соответствии с конкретными потребностями. Эти программы предоставляют точные расчеты параметров и моделирование процессов, что существенно упрощает процесс выбора соответствующего оборудования.

Проведение анализа рынка программного обеспечения, с уклоном на продукты, предлагающие схожий функционал с целью нашего исследования, позволит выделить ключевые характеристики, преимущества и недостатки существующих решений. Это в свою очередь поможет разработать более совершенную и эффективную информационную систему для подбора насосов и теплообменников.

Ниже приведен список существующих решений:

1. *HTRI Xchanger Suite*

HTRI Xchanger Suite – это комплексное программное обеспечение, предназначенное для инженерного проектирования, анализа и оптимизации теплообменных устройств. Программа позволяет инженерам моделировать и анализировать тепловые процессы в различных типах теплообменных аппаратов, включая пластинчатые, трубчатые и оборотнопластинчатые теплообменники [14].

Она обеспечивает широкий спектр инструментов для расчета теплообмена, гидравлики, а также проектирования и оценки теплообменных устройств (Рисунок 4).

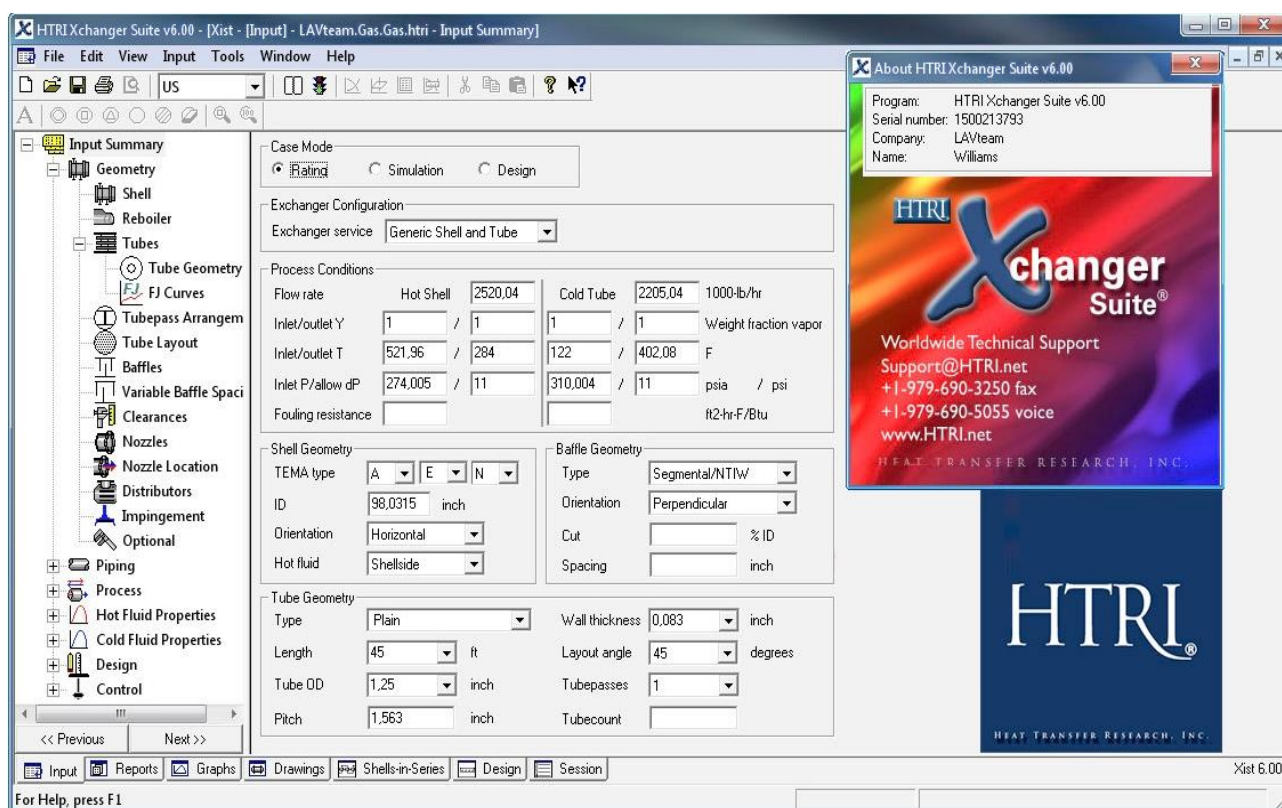


Рисунок 4 – HTRI Xchanger Suite

Преимущества: *HTRI Xchanger Suite* предлагает обширный функционал, который охватывает все этапы проектирования и эксплуатации теплообменников. Интеграция с другими инженерными инструментами позволяет эффективно работать на всех этапах проекта. Программа также обеспечивает поддержку широкого спектра рабочих сред и типов теплообменников.

Недостатки: Основным недостатком *HTRI Xchanger Suite* является его высокая стоимость лицензии и обслуживания, что может ограничить доступность для некоторых компаний или инженеров. Кроме того, для эффективного использования всех функций программы требуется обучение и опыт работы с ней.

2. AspenTech Aspen Exchanger Design & Rating

Aspen Exchanger Design & Rating (EDR) – это продукт *AspenTech*, предназначенный для проектирования и оценки теплообменников. Программа обеспечивает инженерам возможность расчета теплообмена и гидравлики для различных типов теплообменников. Она предлагает широкий спектр функциональности для моделирования и проектирования теплообменных устройств [15] (Рисунок 5).

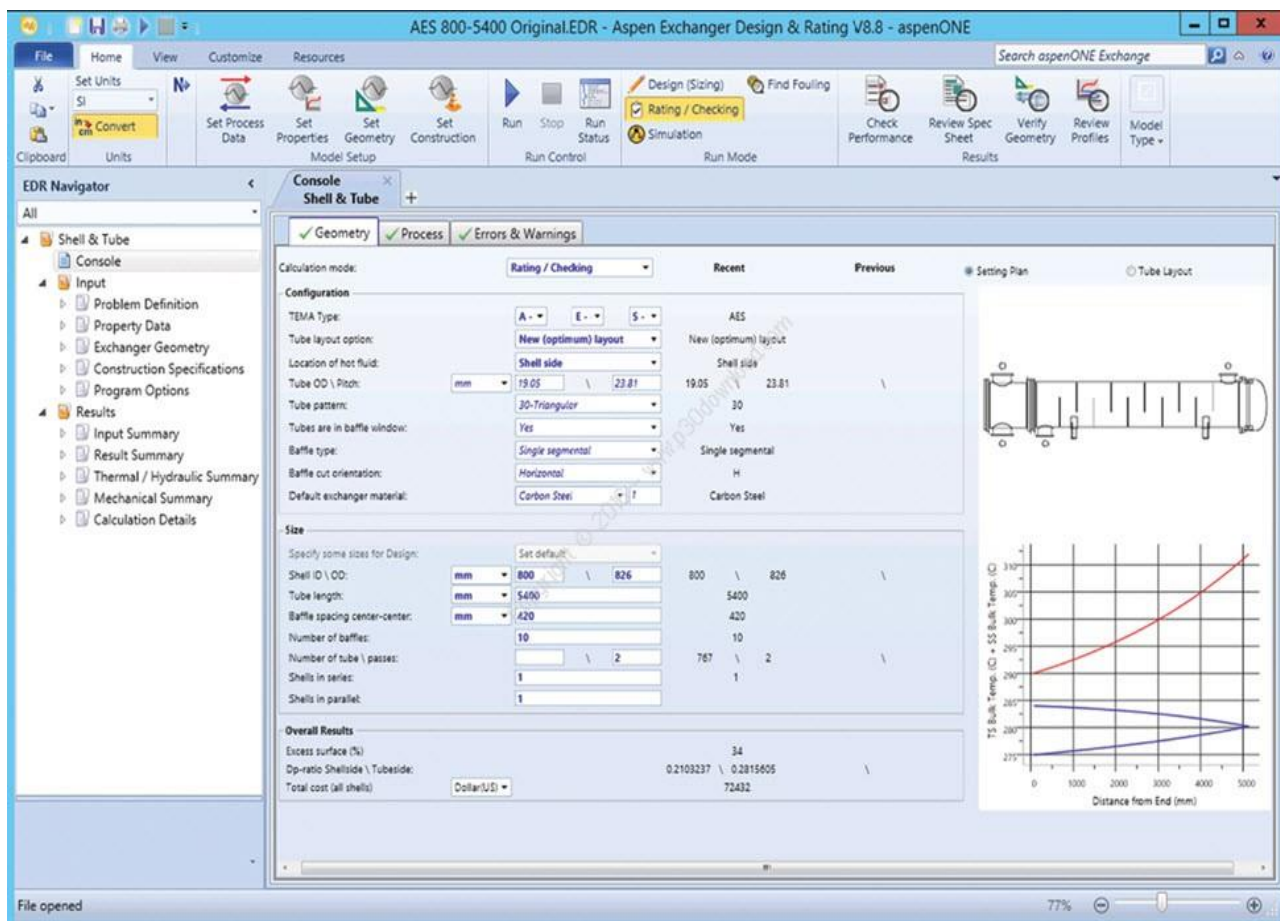


Рисунок 5– AspenTech Aspen Exchanger Design & Rating

Преимущества: *Aspen Exchanger Design & Rating (EDR)* обладает интеграцией с другими программными продуктами *AspenTech*, что обеспечивает совместную работу и совместимость с другими инженерными системами. Программа также поддерживает различные типы теплообменников и рабочих сред, что делает ее универсальным инструментом для инженеров.

Недостатки: Основными недостатками *Aspen Exchanger Design & Rating (EDR)* являются высокая стоимость лицензии и обновлений, а также сложность в освоении и использовании для новых пользователей.

3. Engineering Equation Solver

Engineering Equation Solver (EES) – это программное обеспечение для инженерных расчетов, которое может использоваться для анализа теплотехнических процессов, включая расчет теплообмена. Программа предоставляет возможность решения уравнений и моделирования физических процессов с использованием гибкого и мощного языка программирования [16] (Рисунок 6).

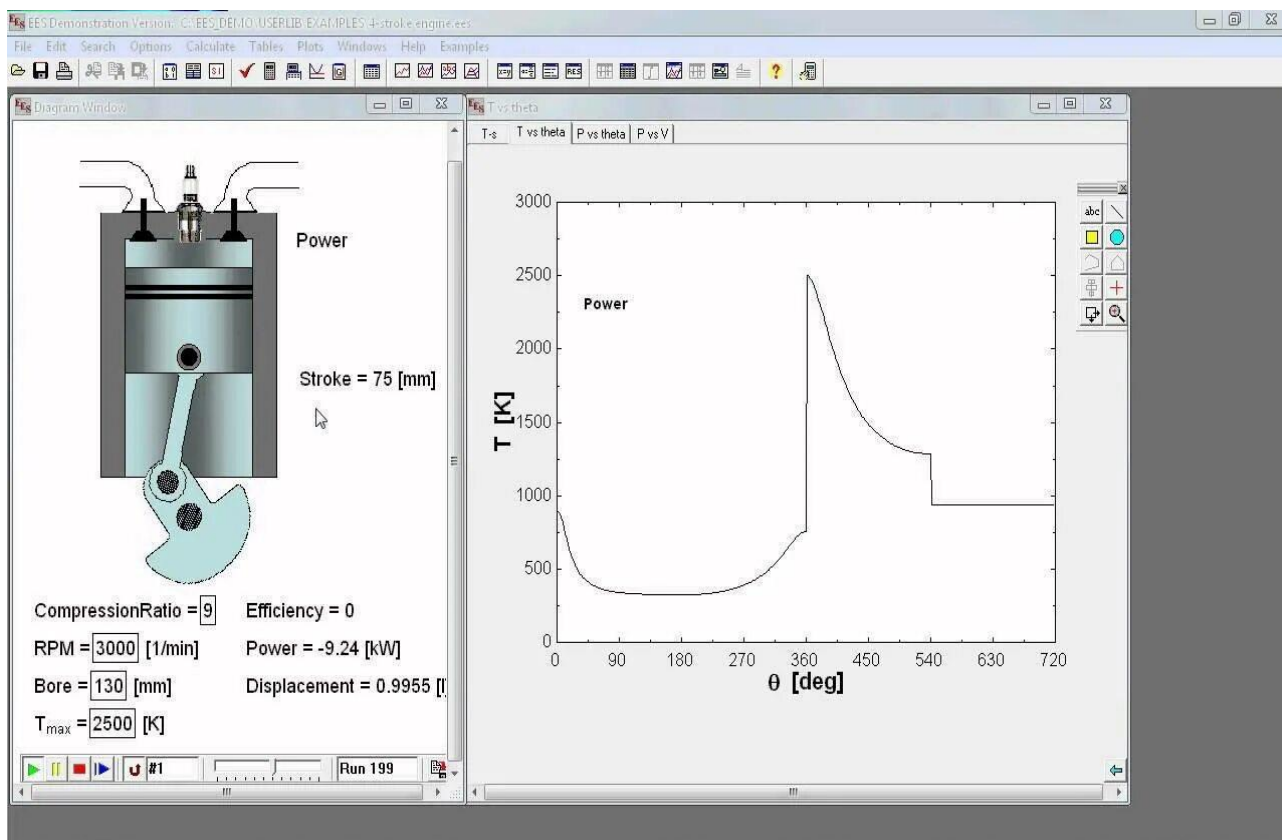


Рисунок 6 – *Engineering Equation Solver*

Преимущества: *EES* отличается относительной доступностью и низкой стоимостью по сравнению с некоторыми другими программами. Он предлагает гибкий и мощный язык программирования для создания пользовательских моделей и расчетов, а также поддерживает различные типы теплообменников и расчетных задач.

Недостатки: для эффективного использования *EES* требуется определенный уровень знаний в области программирования, а также менее интуитивный интерфейс пользователя по сравнению с некоторыми другими программами.

4. *Comsol Multiphysics*

Comsol Multiphysics – это мощный инструмент для моделирования и расчета различных физических процессов, включая тепловые. Программа предоставляет средства для создания и анализа моделей теплообмена в различных теплообменных устройствах, позволяя инженерам и ученым проводить детальное исследование тепловых процессов [17] (Рисунок 7).

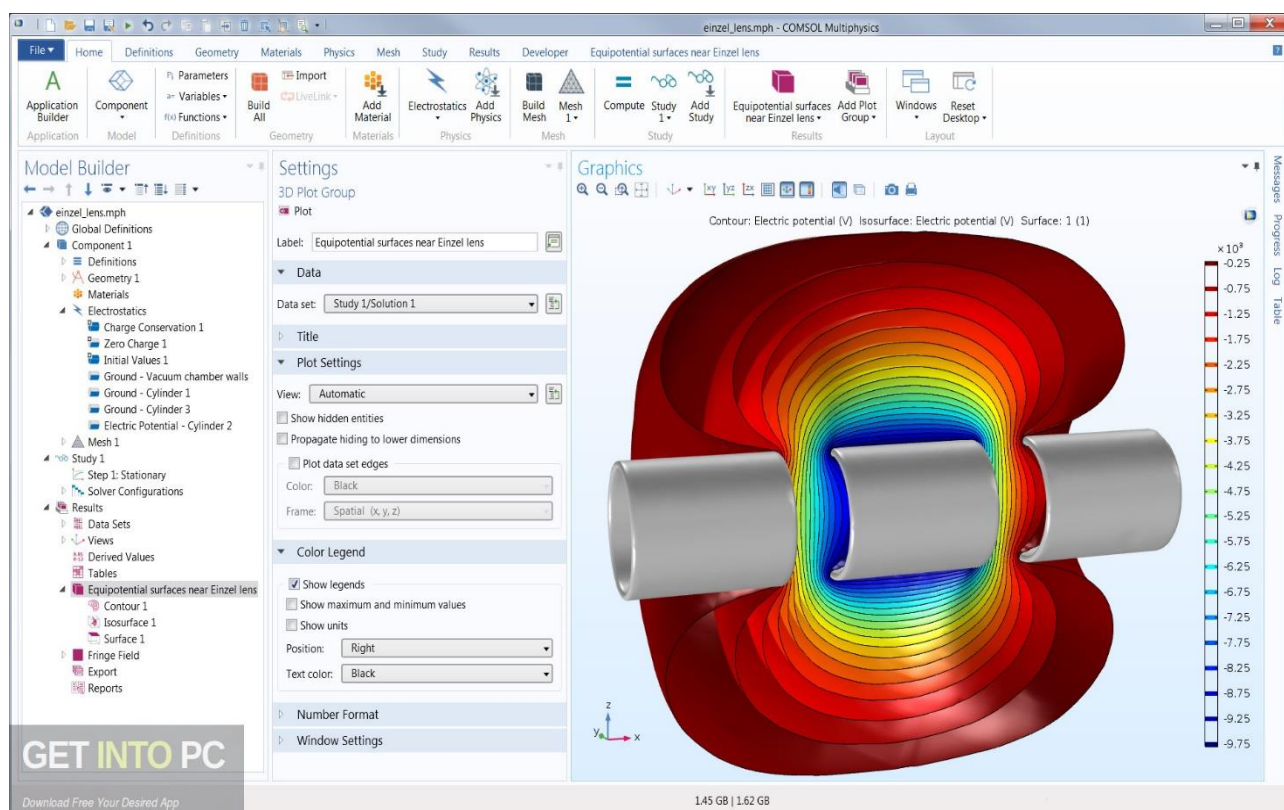


Рисунок 7 – *Comsol Multiphysics*

Преимущества: *Comsol Multiphysics* предлагает широкий спектр функционала для моделирования тепловых процессов, включая возможность создания и адаптации пользовательских моделей и расчетов. Программа также поддерживает различные типы теплообменных конструкций и рабочих сред, что делает ее полезным инструментом для инженеров и ученых.

Недостатки: Одним из основных недостатков *Comsol Multiphysics* является его сложность в использовании и требования к вычислительным ресурсам. Программа также требует определенного уровня обучения и подготовки для эффективного использования всех ее функций.

5. *Computational Fluid Dynamics Engineering Data Analyst*

CFDEDA – это интегрированный инструмент для вычислительной гидродинамики и анализа данных, который может использоваться для моделирования теплового обмена и других гидродинамических процессов. Программа предоставляет средства для проведения детального анализа тепловых процессов и оптимизации работы теплообменных устройств [18] (Рисунок 8).

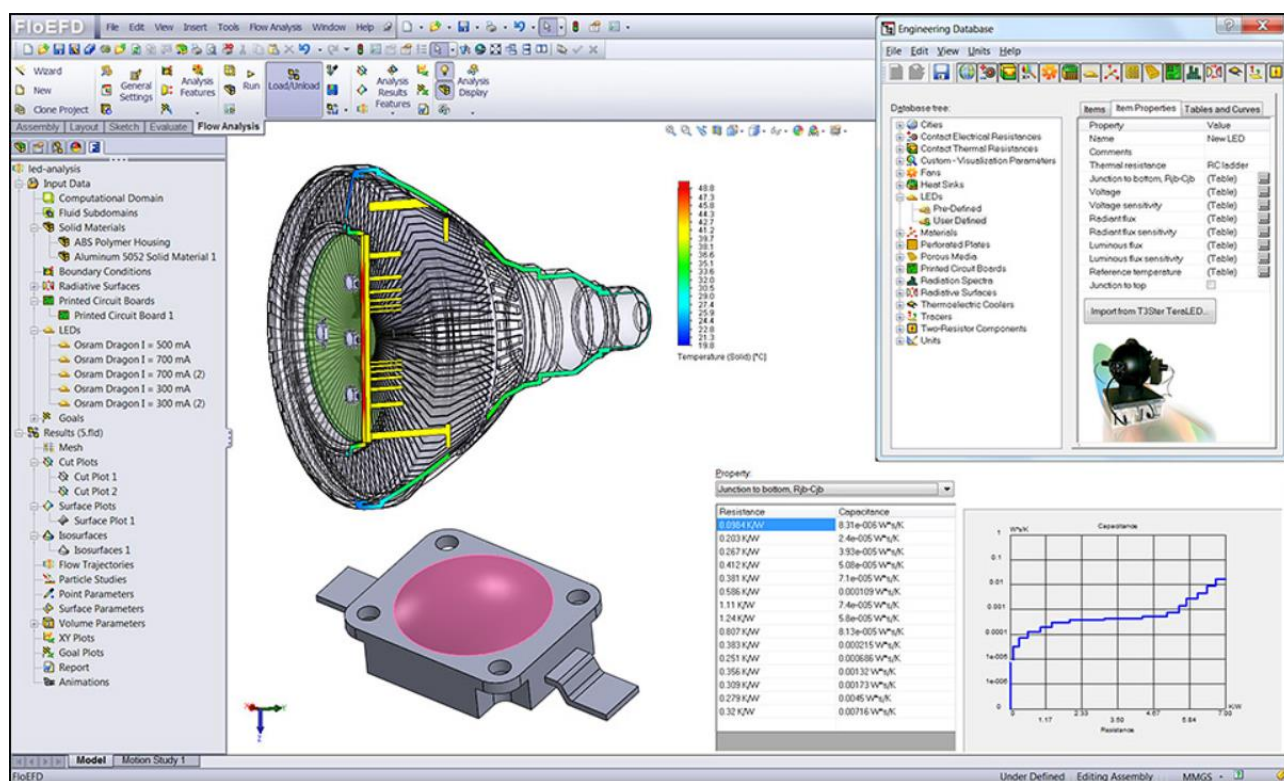


Рисунок 8 – *Computational Fluid Dynamics Engineering Data Analyst*

Преимущества: *CFDEDA* объединяет методы вычислительной гидродинамики и анализа данных для детального анализа тепловых процессов. Программа обладает гибкостью и мощностью для создания пользовательских моделей и расчетов, а также поддерживает широкий спектр физических явлений и теплообменных конструкций.

Недостатки: для эффективного использования *CFDEDA* требуется определенный уровень знаний в области вычислительной гидродинамики и анализа данных. Программа также может быть сложной в использовании для неподготовленных пользователей, и требует вычислительных ресурсов для проведения расчетов.

После перечисления программного обеспечения, важно осуществить анализ их особенностей, функционала и результативности. Для этого исследователи переходят к составлению сравнительной таблицы 1, в которой сопоставляют ключевые характеристики каждой программы. Этот этап анализа поможет более детально проанализировать каждое решение и сделать обоснованный выбор наиболее подходящего варианта для целей исследования.

Таблица 1 – Сравнение аналогов

	<i>HTRI Xchanger Suite</i>	<i>Aspen Ex- changer Design & Rating (EDR)</i>	<i>Engineering Equation Solver (EES)</i>	<i>Comsol Multiphysics</i>	<i>CFDEDA</i>
Тип программы	Комплексное ПО	ПО для проектирования теплообменников	Программное обеспечение для инженерных расчетов	Моделирование и расчет ПО	Интегрированный инструмент CFD и анализа данных
Специализация	Теплообменные устройства	Теплообменные устройства	Инженерные расчеты	Моделирование тепловых процессов	Вычислительная гидродинамика и анализ данных
Стоимость лицензии	Высокая	Высокая	Средняя	Высокая	Средняя
Сложность использования	Высокая	Высокая	Средняя	Высокая	Высокая
Интеграция с другими системами	Да	Да	Нет	Да	Нет
Поддержка пользовательских моделей	Да	Да	Да	Да	Да
Доступность обучения и поддержки	Доступна	Доступна	Доступна	Доступна	Ограничена

Таким образом, все вышеперечисленные программы представляют себя мощные инструменты для моделирования и оптимизации технологических процессов, связанных с подбором центробежных насосов и теплообменных аппаратов. Каждая из них обладает своими уникальными характеристиками, преимуществами и недостатками, что делает их привлекательными для различных инженерных задач и уровней опыта пользователей. Однако, в случае наличия уникальных требований или особенностей проекта, эффективность этих информационных систем может быть снижена из-за ряда недостатков или присутствия лишнего функционала, который может запутать пользователя.

Поэтому создание собственной информационной системы является обоснованной целью. Разработка индивидуального программного продукта для конкретного заказчика позволяет точно адаптировать его под специфику задачи, обеспечивая наилучшую эффективность и удовлетворение всех потребностей. Создание собственной информационной системы также открывает возможность для реализации уникальных функций и возможностей, специально разработанных для оптимального решения конкретных задач заказчика.

1.5 Выбор инструментального средства реализации систем управления базами данных

Перед физическим проектированием базы данных необходимо выбрать систему управления базами данных, которая будет использоваться для хранения и обработки данных. Среди популярных систем управления базами данных можно выделить *Microsoft SQL Server*, *MySQL* и *Oracle Database*.

Microsoft SQL Server – это система управления реляционными базами данных, разработанная компанией *Microsoft*. Она поддерживает язык манипулирования данными *SQL* и имеет графический интерфейс для управления базами данных. *Microsoft SQL Server* поддерживает транзакции, триггеры и хранимые процедуры. Она работает на операционных системах *Windows* и *Linux* [19].

MySQL – это свободная реляционная система управления базами данных. Она использует язык манипулирования данными *SQL* и поддерживает транзакции, триггеры и хранимые процедуры. *MySQL* работает на операционных системах *Windows*, *Linux* и *MacOS* [20].

Oracle Database – это объектнореляционная система управления базами данных компании *Oracle*. Она поддерживает язык манипулирования данными *SQL*, а также *API* и графический интерфейс для управления базами данных. *Oracle Database* поддерживает транзакции, триггеры и хранимые процедуры. Она работает на операционных системах *Windows*, *Linux* и *MacOS* [21].

Сравнение выбранных систем управления базами данных представлено в таблице 4.

Таблица 2 – Характеристики различных СУБД

№	Критерий сравнения	<i>MSSQL Server</i>	<i>MySQL</i>	<i>Oracle Database</i>
1	Язык манипулирования	<i>GUI & SQL</i>	<i>SQL</i>	<i>API & GUI & SQL</i>
2	Потребительская версия	Нет	Да	Да
3	Транзакции	Да	Да	Да
4	Триггеры, хранимые процедуры	Да	Да	Да
5	Платформы	<i>Windows, Linux</i>	<i>Windows, Linux, MacOS</i>	<i>Windows, Linux, MacOS</i>
6	Использование в учебных заведениях	Да	Нет	Нет
7	Документация на русском языке	Да	Нет	Нет

Для выбора оптимальной системы управления базами данных необходимо проанализировать характеристики каждой из них. В таблице 4 приведены основные критерии сравнения между *Microsoft SQL Server*, *MySQL*, *Oracle Database*. Важным критерием является язык манипулирования

данными, который поддерживается система управления базами данных. Также важно учитывать поддержку транзакций, триггеров и хранимых процедур, платформы, на которых работает система управления базами данных, а также наличие документации на русском языке.

Выбор конкретной системы управления базами данных зависит от требований к проекту, его масштаба, доступных ресурсов и других факторов. При выборе системы управления базами данных необходимо учитывать не только ее функциональность, но и возможность поддержки и масштабирования базы данных в будущем.

1.6 Вывод по главе

В ходе аналитической части был произведен обзор центробежных насосов, их принцип работы и основные характеристики, что является важным для понимания применения насосов в промышленности, были рассмотрены теплообменные аппараты и их роль в технологических процессах. Это важный компонент многих производственных систем, включая ректификационные установки, также было уделено внимание вспомогательному оборудованию в ректификационных установках. Были рассмотрены такие элементы, как кипятильники, дефлегматоры, холодильники и подогреватели, их функции и взаимосвязь с процессом разделения компонентов жидкой смеси. Был проведен анализ существующих программных продуктов, предназначенных для выбора оптимальных ректификационных колонн. Этот анализ позволил выделить ключевые характеристики и преимущества существующих решений. Было выбрано инструментальное средство реализации системы управления базами данных.

В целом, аналитическая часть исследования позволила получить глубокое понимание различных аспектов, связанных с ректификационными установками и их компонентами, что является важным шагом для разработки эффективных информационных систем и оптимизации технологических процессов.

2 ПРОЕКТНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Концептуальное проектирование

Концептуальное проектирование базы данных выполняется на основе развернутого технического задания на разработку программного продукта и начинается с создания концептуальной модели данных предприятия, которая является абсолютно независимой от таких деталей реализации, как целевая система управления базами данных, особенности прикладных программ, используемый язык программирования, выбранная вычислительная платформа.

ER модель включает в себя описание информационных объектов, или понятий предметной области и связей между ними; описание ограничений целостности, то есть требований к допустимым значениям данных и к связям между ними.

В процессе разработки *ER*-диаграммы определяются:

- типы сущностей;
- типы связей;
- атрибуты;
- домены атрибутов;
- потенциальные ключи;
- вторичные ключи;
- первичные ключи.

Сущность – любой конкретный или абстрактный объект в рассматриваемой предметной области. Сущности – это базовые типы информации, которые хранятся в базе данных. К сущностям могут относиться: авиакомпании, клиенты, рейс и так далее. Экземпляр сущности и тип сущности – это разные понятия. Понятие тип сущности относится к набору однородных личностей, предметов или событий, выступающих как целое. Можно выделить следующие типы сущностей: сильные и слабые.

В таблице ниже указываются все существующие сущности базы данных, их описания, псевдонимы и типы.

Таблица 3 – Сведения о типах сущностей

Имя сущности	Описание	Псевдоним	Тип
Характеристики	Характеристики теплообменников при разных температурах	<i>Characteristic</i>	Сильный
Плотность	Плотность вещества при различных температурах	<i>Density</i>	Сильный
Давление	Давление при различных условиях	<i>Pressure</i>	Сильный
Насосы	Данные о насосах и их характеристиках	<i>Pump</i>	Сильный
Вязкость	Вязкость вещества при различных температурах	<i>Viscosity</i>	Сильный

То число сущностей, которое может быть ассоциировано через набор связей с другой сущностью, называют степенью связи (кардинальностью).

Кардинальность:

1. Связь типа один-к-одному означает, что один экземпляр первой сущности (левой) связан с одним экземпляром второй сущности (правой). Связь один-к-одному чаще всего свидетельствует о том, что на самом деле мы имеем всего одну сущность, неправильно разделенную на две.

2. Связь типа один-ко-многим означает, что один экземпляр первой сущности (левой) связан с несколькими экземплярами второй сущности (правой). Это наиболее часто используемый тип связи.

3. Связь типа много-ко-многим означает, что каждый экземпляр первой сущности может быть связан с несколькими экземплярами второй сущности, и каждый экземпляр второй сущности может быть связан с несколькими экземплярами первой сущности. Тип связи много-ко-многим является временным типом связи, допустимым на ранних этапах разработки модели. В дальнейшем этот тип связи должен быть заменен двумя связями типа один-ко-многим путем создания промежуточной сущности.

Концептуальная модель отсутствует поскольку сущности никак не связаны между собой.

2.2 Логическое проектирование

Логическое проектирование базы данных представляет собой процесс конструирования модели информационной структуры организации, выполняемый в соответствии с выбранной схемой организации информации. Однако создаваемая логическая модель не зависит от особенностей конкретной системой управления базами данных и физических условий реализации.

Если концептуальная модель данных не зависит от любых физических аспектов реализации, то логическая модель данных создается на основе выбранной модели организации данных целевой системой управления базами данных. То есть, на этом этапе уже должно быть известно, какая система управления базами данных будет использоваться в качестве целевой – реляционная, сетевая, иерархическая или объектноориентированная. Однако на этом этапе игнорируются все остальные характеристики выбранной системы управления базами данных.

Атрибут – это свойство сущности в предметной области. Его наименование должно быть уникальным для конкретного типа сущности. В реляционной базе данных атрибуты хранятся в полях таблиц.

Домен атрибута – это набор значений, которые могут быть присвоены атрибуту. Атрибуты сущности содержат значения, описывающие каждую сущность. Значения атрибутов представляют основную часть сведений, сохраняемых в базе данных.

Для выбранной модели приведена таблица с описанием атрибутов и доменов атрибутов (таблица 4).

Таблица 4 – Атрибуты и домены атрибутов

№	Сущность	Атрибуты сущности	Домены атрибутов
1	Характеристики	Диаметр кожуха внутренний D , мм	Числовой
		Число труб, n	Числовой
		Ходовка	Текстовый
		1.0	Числовой
		1.5	Числовой
		2.0	Числовой
		3.0	Числовой
		4.0	Числовой
		6.0	Числовой
		9.0	Числовой
2	Плотность	Вещество	Текстовый
		20	Числовой
		0	Числовой
		20	Числовой
		40	Числовой
		60	Числовой
		80	Числовой
		100	Числовой
		120	Числовой
3	Вязкость	Вещество	Текстовый
		20	Числовой
		10	Числовой
		0	Числовой
		10	Числовой
		20	Числовой
		30	Числовой
		40	Числовой
		50	Числовой
		60	Числовой
		80	Числовой
		100	Числовой
		120	Числовой
4	Насосы	Марка насоса	Текстовый
		$Q \text{ м}^3/\text{с}$	Числовой
		H , м столба жидкости	Числовой
		n , об/с	Числовой
		η_p	Числовой
		Электродвигатель	Текстовый
		N , кВт	Числовой
		η_l	Числовой
5	Давление	Абсолютное давление, $\text{кг}/\text{с}^2$	Числовой
		Температура, С	Числовой
		Удельная теплота парообразования, Дж/кг	Числовой

2.3 Физический этап проектирования

Физическое проектирование базы данных – это процесс создания описания конкретной реализации базы данных, размещаемой во вторичной памяти. На этом этапе рассматриваются основные отношения, организация файлов и индексов, предназначенных для обеспечения эффективного доступа к данным, а также все связанные с этим ограничения целостности и средства защиты.

Физическое проектирование является третьим и последним этапом создания проекта базы данных, при выполнении которого проектировщик принимает решения о способах реализации разрабатываемой базы данных. Во время предыдущего этапа проектирования была определена логическая структура базы данных (которая описывает отношения и ограничения в рассматриваемой прикладной области). Хотя эта структура не зависит от конкретной целевой системой управления базами данных, она создается с учетом выбранной модели хранения данных, например реляционной, сетевой или иерархической. Однако, приступая к физическому проектированию базы данных, прежде всего необходимо выбрать конкретную целевую систему управления базами данных. Поэтому физическое проектирование неразрывно связано с конкретной системой управления базами данных. Между логическим и физическим проектированием существует постоянная обратная связь, так как решения, принимаемые на этапе физического проектирования с целью повышения производительности системы, способны повлиять на структуру логической модели данных.

Как правило, основной целью физического проектирования базы данных является описание способа физической реализации логического проекта базы данных. В случае реляционной модели данных под этим подразумевается следующее:

1. Создание набора реляционных таблиц и ограничений для них на основе информации, представленной в глобальной логической модели данных.
2. Определение конкретных структур хранения данных и методов доступа к ним, обеспечивающих оптимальную производительность систем управления базами данных.
3. Разработка средств защиты создаваемой системы.

Целью физического проектирования является создание базовой функциональной схемы реляционной базы данных на основе глобальной логической модели данных. Схема физического проектирования базы данных представлена на рисунке 9.

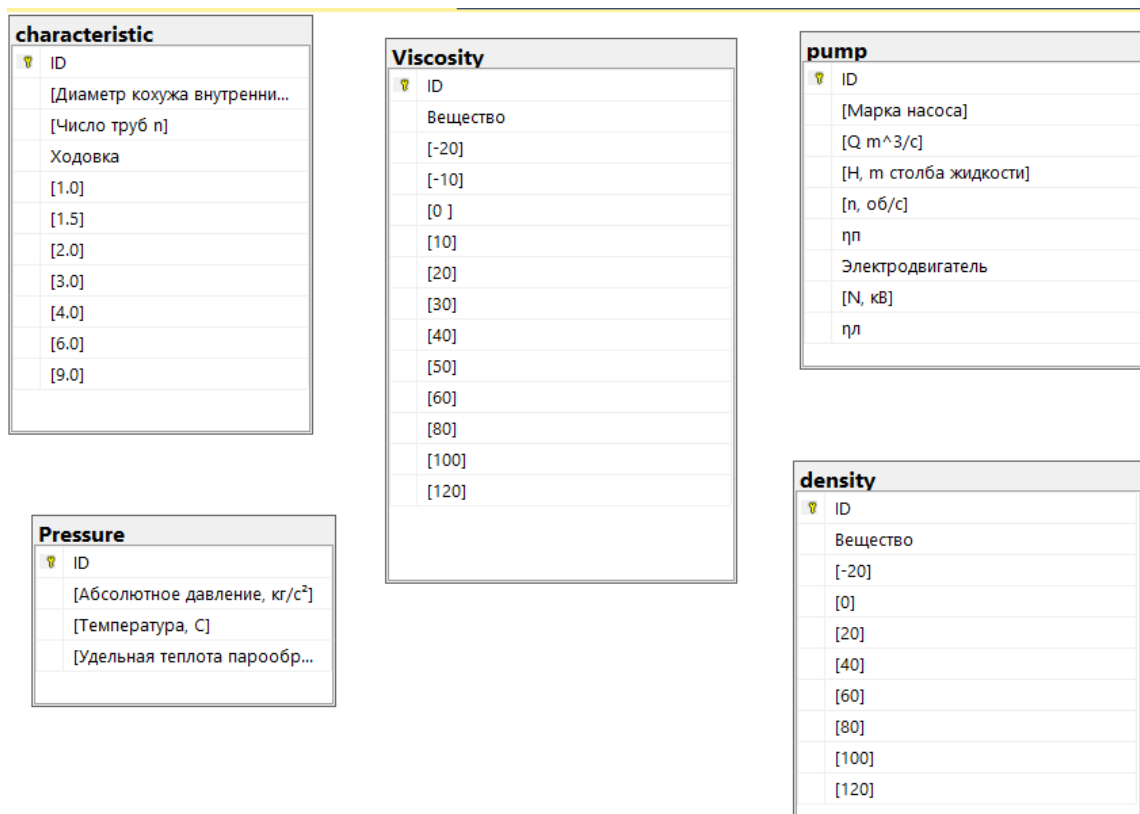


Рисунок 9 – Схема физического проектирования базы данных

2.4 Определение функциональных требований к программе

Программный продукт должен быть соответствующим образом подготовлен к эксплуатации. Проанализировав существующие программные решения были определены следующие функциональные требования к разрабатываемой программе:

- соблюдение правильности подбора центробежного насоса и электродвигателя;
- соблюдение правильности вычислений;
- наличие требований к работе вспомогательного оборудования;
- принцип работы вспомогательного оборудования;
- пользователь должен иметь возможность видеть выполняемые им действия и полученный результат;
- наличие теоретических сведений;
- возможность сохранять, загружать и открывать протокол выполнения;
- возможность шифрования протокола;
- выводить сообщения в дополнительные окна;
- программа должна иметь простой, но в то же время понятный и наглядный интерфейс, который не должен перегружать ресурсы компьютера и вводить пользователя в заблуждение;

- программа не должна занимать большой объем памяти и не должна требовать установки на жесткий диск компьютера;
 - стабильная работоспособность приложения в среде *Windows*.
- Для представления принципа работы программы ниже приведена ее функциональная схема (Рисунок 10).

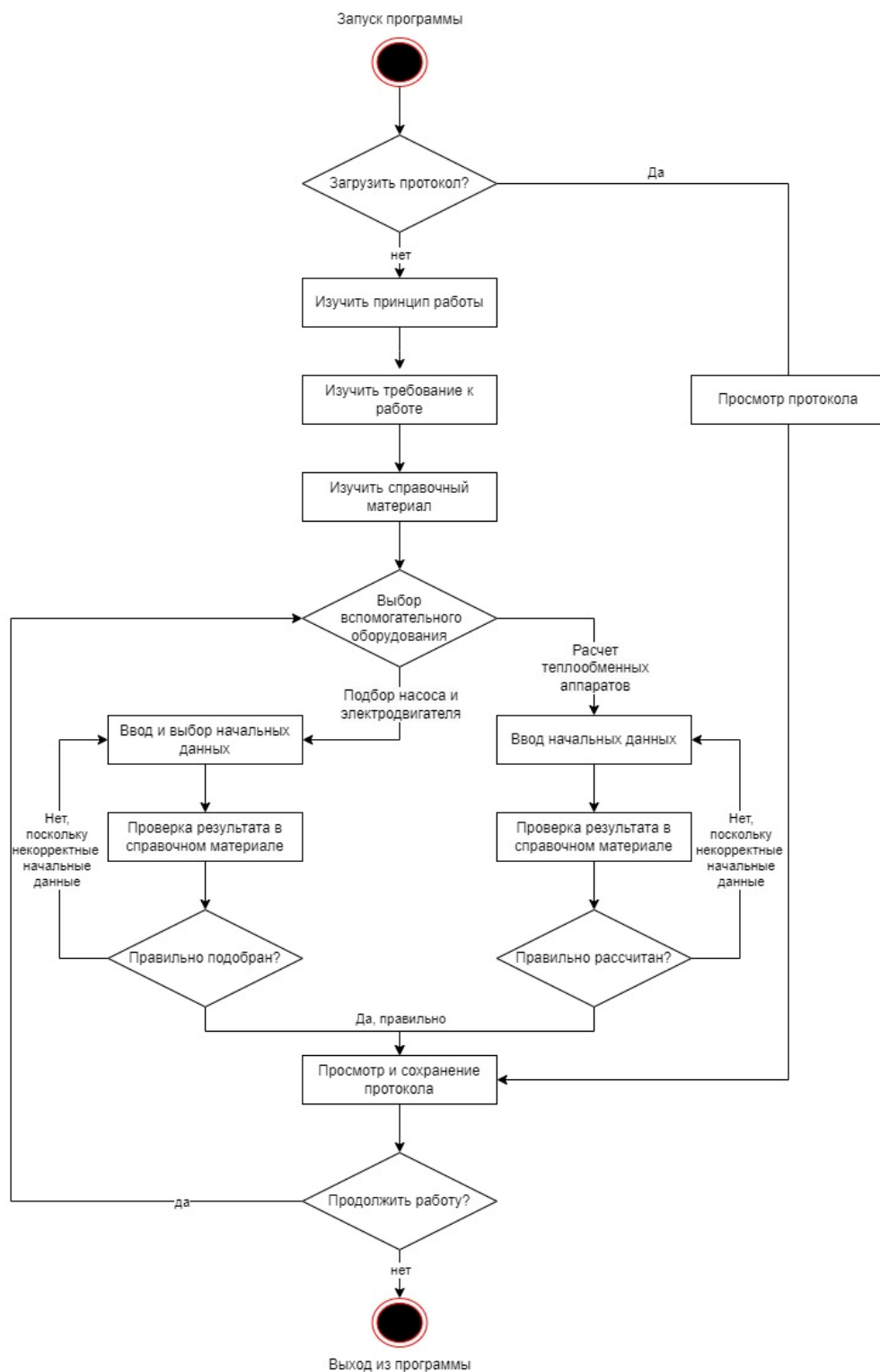


Рисунок 10 – Функциональная схема программы

Основные этапы функциональной схемы:

1. Условие «Загрузить протокол» – необходимая мера, определяющая дальнейший ход событий, поскольку технолог может запустить программу для просмотра раннее сохраненного протокола в случае необходимости либо начать работать с программой.

2. Действие «Изучить принцип работы» – необходим для технолога, который мог забыть ту или иную особенность вспомогательного оборудования.

3. Действие «Изучить требование к работе» – необходим также технологу в случае, когда он мог забыть тот или иной аспект.

4. Условие «Выбор вспомогательного оборудования» – основная задача для технолога в зависимости от задачи необходимо ли подобрать центробежный насос и электродвигатель либо расчет теплообменных аппаратов.

5. Действие «Ввод и выбор начальных данных» в ветви «Подбор насоса и электродвигателя» подразумевает выбор вида жидкости и температуры жидкости, ввод производительности, высоту подъема, сумму коэффициентов местных сопротивлений и длину трубопровода после ввода чего программа произведет расчеты и на основе которых подберет центробежный насос, а далее и электродвигатель, соответствующий этому насосу.

6. Условие «Правильно подобрал?» является некой проверкой, в случае если насос является неподходящим, то технологу необходимо проверить введенные и выбранные значения на корректность, в ином случае пользователь может просмотреть результат либо же сохранить его при необходимости.

7. Действие «Ввод начальных данных» в ветви «Расчет теплообменных аппаратов» в зависимости от аппарата требует того или иного параметра, после ввода необходимых данных, программа на основе рассчитанной поверхности теплообмена программа находит ближайшую поверхность, длину труб, диаметр кожуха, диаметр труб, количество труб и число ходов согласно справочнику.

8. Условие «Правильно рассчитан?» необходим в случае, если введенные значения были некорректными и программе не удалось определить поверхность теплообмена. В таком случае необходимо проверить корректность введенных данных и сравнить с справочной информацией, в случае если все удачно, то технолог при необходимости может сохранить результат вычислений.

Таким образом, функциональная схема программы представляет собой важный инструмент для понимания основных этапов работы и взаимодействия пользователя с приложением. Описанные этапы, начиная от ввода ФИО и группы пользователем и заканчивая сохранением протокола выполнения, представляют собой ключевые шаги, необходимые для успешного использования программы.

Программа обеспечивает удобный и интуитивно понятный пользовательский интерфейс, который позволяет легко взаимодействовать с приложением. Важным аспектом является также обработка возможных ошибок и исключительных ситуаций, что позволяет пользователю эффективно управлять процессом выполнения задания.

Благодаря возможности сохранения результатов, пользователь имеет возможность сохранить протокол работы для последующей проверки или анализа. Это делает программу удобным инструментом.

2.5 Проектирование интерфейса

Главная форма представлена на рисунке 11.

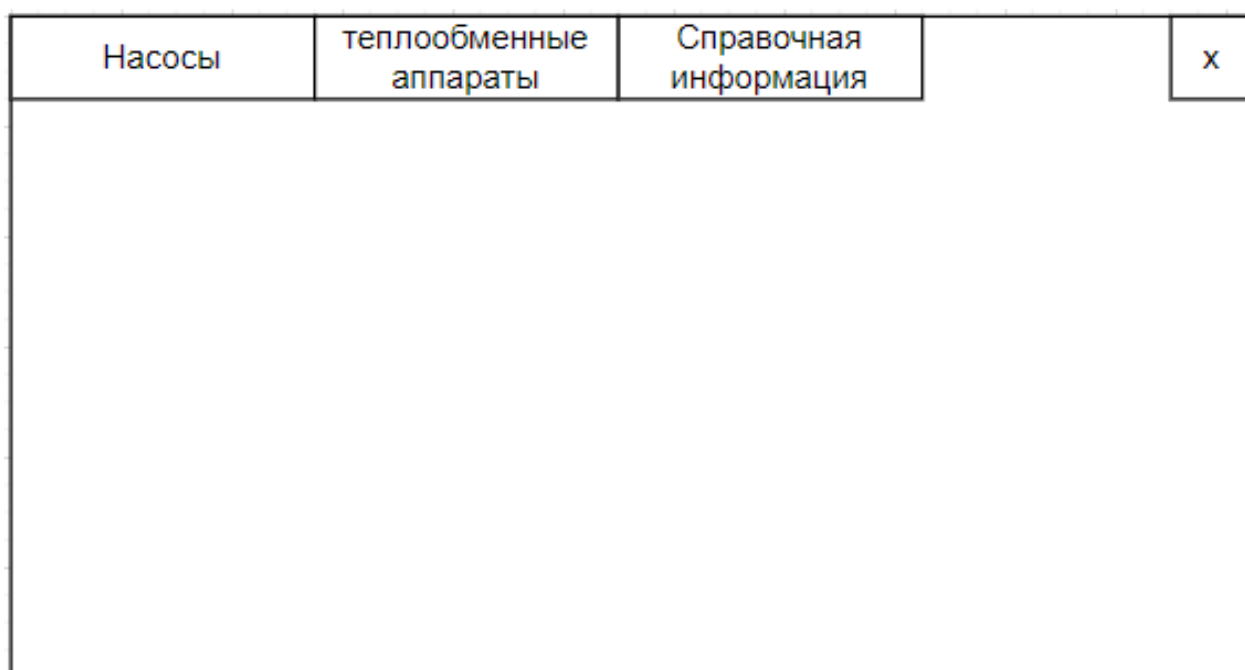


Рисунок 11 – Главная форма

Содержание каждой вкладки представлены на рисунках 12, 13, 14.

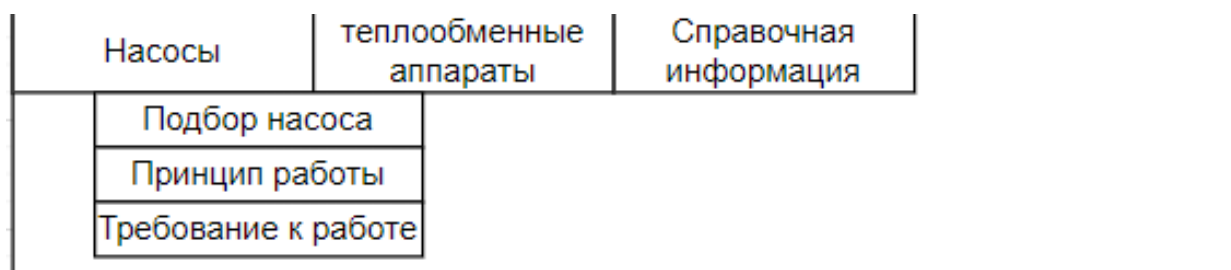


Рисунок 12 – Вкладка «Насосы»

Насосы	теплообменные аппараты	Справочная информация	
		Виды расчетов	
		Принцип работы	
		Требование к работе	

Рисунки 13 – Вкладка «Теплообменные аппараты»

Насосы	теплообменные аппараты	Справочная информация	
		Виды справочников	

Рисунки 14 – Вкладка «Виды справочники»

Окно для расчетов представлен на рисунке 15.

Поле 1	<input type="text"/>	
Поле 2	<input type="text"/>	
Поле 3	<input type="text"/>	
Поле 4	<input type="text"/>	
<div>Расчет</div> <div>Справочная информация</div>		

Рисунок 15 – Окно для расчетов

Окно со справочной информацией 16.

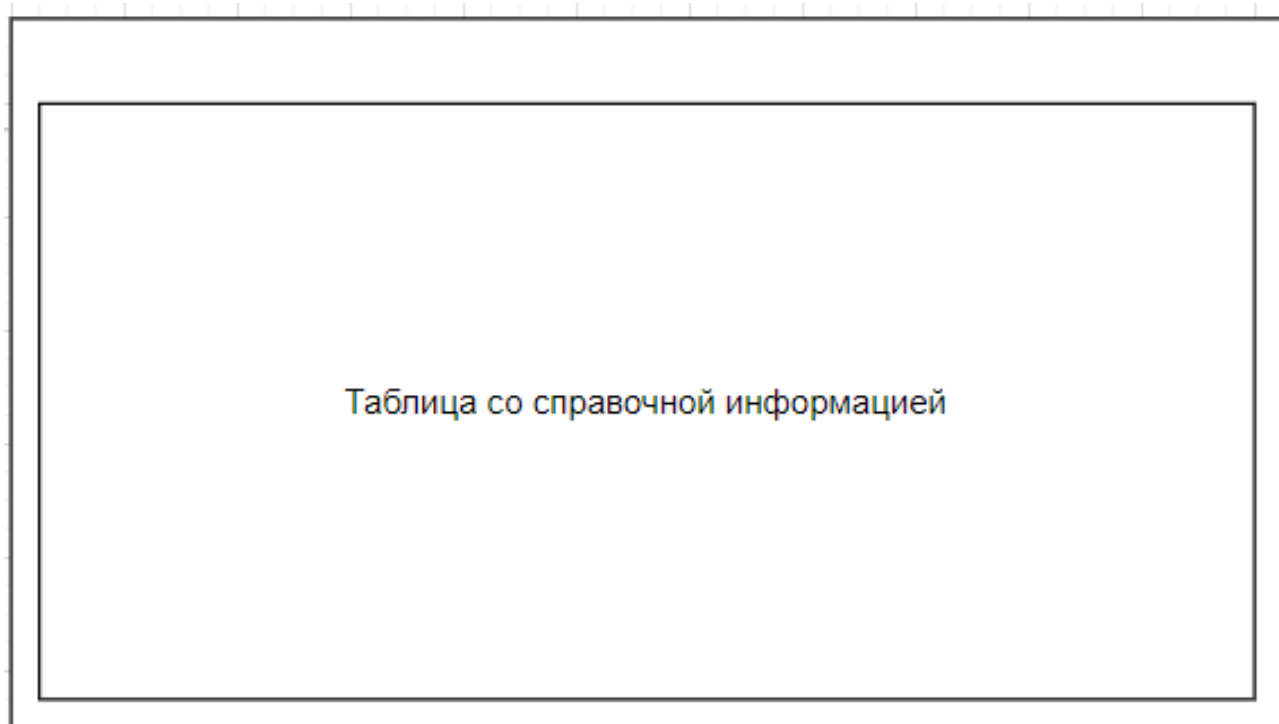


Рисунок 16 – Окно со справочной информацией

2.6 Вывод по главе

Данная глава представляет собой проектную часть диплома, включающую в себя концептуальное, логическое и физическое проектирование, определение функциональных требований, а также выбор инструментального средства для реализации системы управления базами данных.

3. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ

3.1 Структура программы

Структура программного продукта – это организационная схема данных, в соответствии с которой они упорядочены с тем, чтобы их можно было интерпретировать и выполнять над ними определенные операции. Структура программного продукта должна быть спроектирована таким образом, чтобы обеспечить максимальную эффективность работы с данными и минимальное количество ошибок при выполнении операций. Она может быть представлена в виде диаграмм или таблиц, описывающих характеристики объектов и связи между ними. Кроме того, структура программного продукта должна учитывать требования пользователей и возможности использования программного продукта в различных условиях и с различными целями.

База данных «*References*» является реляционной. В процессе её разработки были созданы следующие таблицы:

- *characteristic* – таблица о характеристиках теплообменника;
- *density* – таблица плотности в зависимости от температуры;
- *pressure* – таблица давления в зависимости от температуры;
- *pump* – таблица, содержащая центробежные насосы, а также электродвигатели;
- *viscosity* таблица вязкости в зависимости от температуры.

В ходе разработки программы было создано 12 форм, каждая из которых выполняет определенную функцию. Среди них:

Одна форма отвечает за главное меню:

1. *FormMenu*.

Шесть форм предназначены для подсчета и подбора вспомогательного оборудования:

1. *FormBoiler*.
2. *FormCubicRemainder*.
3. *FormDephlegmator*.
4. *FormDistillate*.
5. *FormPump*.
6. *FormHeater*.

Оставшиеся пять форм предоставляют справочную информацию:

1. *Reference_Density*.
2. *Reference_Viscosity*.
3. *Reference_Pump*.
4. *Reference_Pressure*.
5. *Reference_Characteristic*.

Каждая из этих форм разработана с учетом специфики своего назначения и предоставляет пользователю удобный интерфейс для выполнения необходимых расчетов и анализа результатов.

Теперь подробно рассмотрим каждую форму, кроме тех, которые содержат справочную информацию.

1) Форма *FormMenu*

Главное меню программы представляет собой удобную навигационную панель, позволяющую пользователям быстро переходить к нужной функциональности. Здесь собраны основные операции, такие как расчет параметров различных устройств теплообмена, выбор насоса и электродвигателя, а также доступ к справочной информации по характеристикам оборудования.

Каждая кнопка в меню соответствует определенной задаче:

1. Расчет кипятильника ректификационной установки: позволяет пользователю провести расчет параметров кипятильника на основе заданных характеристик.

2. Свойства насыщенного водяного пара в зависимости от давления: дает доступ к справочной информации о свойствах насыщенного водяного пара при различных давлениях.

3. Подбор насоса и электродвигателя: позволяет подобрать подходящий центробежный насос и электродвигатель для конкретной задачи.

4. Коэффициент вязкости в зависимости от температуры: открывает форму для ознакомления с коэффициентами вязкости различных жидкостей при разных температурах.

5. Плотность жидкостей и растворов: позволяет ознакомиться с таблицами плотности различных жидкостей и растворов при разных температурах.

6. Марки насосов: предоставляет справочную информацию о марках центробежных насосов.

7. Электродвигатели: дает доступ к сведениям о различных моделях электродвигателей, используемых в системах теплообмена.

8. Расчет дефлегматора: открывает форму для расчета параметров дефлегматора, необходимого для процесса дистилляции.

9. Расчет подогревателя исходной смеси: позволяет пользователю определить параметры подогревателя исходной смеси в процессе теплообмена.

10. Характеристики теплообменников: дает доступ к справочным характеристикам различных типов теплообменников.

11. Расчет холодильника для дистиллята: предоставляет возможность расчета параметров холодильника для дистиллята на основе введенных данных.

12. Расчет холодильника для кубового остатка: позволяет провести расчет параметров холодильника для кубового остатка в трубном пространстве.

Программа также обеспечивает возможность сохранения и загрузки результатов работы. Пользователи могут сохранять введенные данные и результаты расчетов для последующего использования или анализа.

13. Сохранение данных: после ввода или расчета данных пользователь может сохранить их, нажав на кнопку "Сохранить". Программа автоматически сохраняет данные в файл в формате текстового документа. Для каждой вкладки создается отдельный файл с уникальным именем, содержащим информацию о типе данных и времени сохранения.

14. Загрузка данных: Пользователи могут загружать ранее сохраненные файлы, чтобы просмотреть или внести изменения в сохраненные данные. Для этого необходимо выбрать файл из списка сохраненных и нажать кнопку "Загрузить". Программа автоматически загружает содержимое выбранного файла в соответствующее окно приложения.

Таким образом, функции сохранения и загрузки обеспечивают удобство использования программы и позволяют пользователям эффективно управлять своими данными.

2) Форма *FormPump* предназначена для выбора и расчета параметров центробежного насоса на основе введенных пользователем данных.

Функции:

- *button1_Click*: Обработчик события нажатия кнопки "Calculate". Выполняет расчет и отображение результатов в соответствующем текстовом поле;
- *GetDensityAndViscosity*: получает плотность и вязкость из базы данных;
- *GetParameterFromDatabase*: получает параметры из базы данных;
- *GetSelectedPump*: выполняет подбор подходящего насоса на основе заданных параметров.

Используемые элементы управления:

- *веществоComboBox*: Выпадающий список для выбора вещества;
- *temperatureComboBox*: Выпадающий список для выбора температуры;
- *textBox1*: поле ввода расхода жидкости;
- *textBox2*: поле ввода высоты подъема;
- *textBox3*: поле ввода коэффициента местного сопротивления;
- *textBox4*: поле ввода длины трубы;
- *button1*: кнопка для расчета параметров насоса;
- *button2*: кнопка для открытия справочника по спецификациям.

Формулы:

1. Расчет диаметра трубопровода по формуле (1):

$$d = \sqrt{\frac{V}{3600 \cdot 0.785 \cdot W}} \quad (1)$$

где V – расход жидкости;
 W – скорость.

2. Расчет числа Рейнольдса по формуле (2):

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \text{density}}{\text{viscosity} \cdot 10^3} \quad (2)$$

3. Расчет коэффициента трения:

$$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad (3)$$

4. Расчет потерь давления на трубопроводе:

$$P_{\text{пот}} = \left(\frac{\lambda \cdot l}{d} + \text{sum} \right) \cdot \frac{\text{density} \cdot w^2}{2} \quad (4)$$

5. Расчет потерь напора на всасывающей линии:

$$H_{\text{пот}} = \frac{P_{\text{пот}}}{\text{density} \cdot g} \quad (5)$$

6. Расчет полного напора:

$$H = H_{\Gamma} + H_{\text{пот}} \quad (6)$$

7. Расчет мощности:

$$N = \frac{V \cdot \text{density} \cdot g \cdot H}{3600} \quad (7)$$

8. Расчет мощности двигателя: $N_{\text{дв}} = N / 0.6$;

$$N_{\text{дв}} = \frac{N}{0.6} \quad (8)$$

9. Расчет производительности: $Q = V / 3600$;

$$Q = \frac{V}{3600} \quad (9)$$

Алгоритм:

1. Инициализация переменных и параметров.
2. Получение выбранных значений для вещества и температуры.
3. Получение плотности и вязкости выбранного вещества при указанной температуре из базы данных.
4. Вычисление параметров и характеристик насоса на основе введенных пользователем данных.
5. Формирование строки с подробной информацией о характеристиках насоса и производимых расчетах.

SQL запрос:

- Используются запросы к базе данных для получения плотности и вязкости выбранного вещества при указанной температуре.
- *SQL* запросы направлены на таблицы плотности и вязкости в базе данных, где вещество выбрано пользователем и соответствующая температура.

3) *FormDephlegmator* форма предназначена для расчета параметров дефлегматора.

Используемые переменные:

- *t0*: Температура воды на входе в теплообменник;
- *t1*: Температура воды на выходе в теплообменник;
- *td*: Температура дистиллята;
- *q*: Количество тепла, отнимаемое охлаждающей водой от конденсирующегося в дефлегматоре пара.

Функции:

- *button1_click*: обработчик события нажатия кнопки "*calculate*". выполняет расчет и отображение результатов в соответствующем текстовом поле.
- *button2_click*: обработчик события нажатия кнопки "*reference*". открывает справочник с характеристиками.

Используемые элементы управления:

- *textbox1*: поле ввода температуры 0.
- *textbox2*: поле ввода температуры 1.
- *textbox3*: поле ввода диаметра трубопровода.
- *textbox4*: поле ввода потока тепла.
- *button1*: кнопка для расчета параметров дефлегматора.
- *button2*: кнопка для открытия справочника по характеристикам.

Формулы:

1. Расчет средней температуры:

$$avg = \frac{(d - t1) + (t_d - t0)}{2} \quad (10)$$

где *t0* – температура входной смеси;

t_1 – температура выходной смеси;
 t_d – температура дистиллята.

2. Расчет площади теплообмена:

$$F = \frac{q}{K \cdot avg} \quad (11)$$

где q – тепловая нагрузка;
 avg – средняя температура;
 K –

Алгоритм:

1. Инициализация переменных и параметров.
2. Вычисление средней температуры.
3. Вычисление площади теплообмена.
4. Формирование *SQL* запроса для поиска ближайшего значения площади теплообмена.
5. Выполнение запроса к базе данных и получение результатов.
6. Обработка полученных данных и формирование строки с информацией о характеристиках дефлегматора.

SQL запрос:

– используется для поиска ближайшего значения площади теплообмена в базе данных и получения соответствующих характеристик дефлегматора.

4) *FormDistillate* форма предназначена для расчета параметров холодильника для дистиллята на основе введенных пользователем данных.

Используемые переменные:

- t_0 : Температура входной смеси;
- t_1 : Температура выходной смеси;
- d : Диаметр кожуха теплообменника;
- q : Тепловая нагрузка.

Функции:

- *button1_Click*: Обработчик события нажатия кнопки "*Calculate*". Выполняет расчет и отображение результатов в соответствующем текстовом поле;
- *button2_Click*: Обработчик события нажатия кнопки "*Reference*". Открывает справочник с характеристиками.

Используемые элементы управления:

- *textBox1*: Поле ввода температуры входной смеси;
- *textBox2*: Поле ввода температуры выходной смеси;
- *textBox3*: Поле ввода диаметра кожуха теплообменника;
- *textBox4*: Поле ввода тепловой нагрузки;
- *button1*: Кнопка для расчета параметров холодильника;

– *button2*: Кнопка для открытия справочника по спецификациям.

Формулы:

3. Расчет средней температуры:

$$avg = \frac{(d - t1) + (d - t0)}{2} \quad (13)$$

где $t0$ – температура входной смеси;

$t1$ – температура выходной смеси;

d – диаметр кожуха теплообменника.

4. Расчет площади теплообмена:

$$F = \frac{q}{K \cdot avg} \quad (14)$$

где q – тепловая нагрузка;

avg – средняя температура;

K –

Алгоритм:

1. Вычисление средней температуры.
2. Вычисление площади теплообмена.
3. Формирование *SQL* запроса для поиска ближайшего значения площади теплообмена.
4. Выполнение запроса к базе данных и получение результатов.
5. Обработка полученных данных и формирование строки с информацией о характеристиках теплообменника.

SQL-запрос:

– используется для поиска ближайшего значения площади теплообмена в базе данных и получения соответствующих характеристик теплообменника.

5) *FormHeater* предназначена для расчета параметров подогревателя исходной смеси на основе введенных пользователем данных.

Используемые переменные:

- $t0$: Температура входной смеси;
- $t1$: Температура выходной смеси;
- d : Температура греющего пара;
- q : Тепловая нагрузка.

Функции:

- *button1_Click_1*: Обработчик события нажатия кнопки "*Calculate*". Выполняет расчет и отображение результатов в соответствующем текстовом поле;

– *button2_Click*: Обработчик события нажатия кнопки "Reference". Открывает справочник с характеристиками.

Используемые элементы управления:

- *textBox1*: Поле ввода температуры входной смеси;
- *textBox2*: Поле ввода температуры выходной смеси;
- *textBox3*: Поле ввода диаметра кожуха теплообменника;
- *textBox4*: Поле ввода тепловой нагрузки;
- *button1*: Кнопка для расчета параметров подогревателя;
- *button2*: Кнопка для открытия справочника по спецификациям.

Формулы:

5. Расчет средней температуры:

$$avg = \frac{(d - t1) + (d - t0)}{2}, \quad (15)$$

где $t0$ – температура входной смеси;
 $t1$ – температура выходной смеси;
 d – диаметр кожуха теплообменника.

6. Расчет площади теплообмена:

$$F = \frac{q}{K \cdot avg} \quad (16)$$

где q – тепловая нагрузка;
 avg – средняя температура;
 K –

Алгоритм:

1. Инициализация переменных и параметров.
2. Вычисление среднего значения температуры avg .
3. Вычисление поверхности теплообмена F .
4. Формирование *SQL* запроса для поиска ближайшего значения F и соответствующих характеристик теплообменника.
5. Выполнение запроса к базе данных и получение результатов.
6. Обработка полученных данных и формирование строки с информацией о характеристиках теплообменника.

SQL запрос:

- используется для поиска наиболее близкого значения f в базе данных, а также получения характеристик теплообменника, которые соответствуют этому значению;
- запрос содержит параметры, которые передаются из кода *c#*, такие как значение f ;

– в запросе используются условия и сортировка для нахождения наиболее близкого значения F и соответствующих характеристик теплообменника.

6) *FormBoiler* предназначен для расчета параметров кипятильника ректификационной установки на основе введенных пользователем данных.

Используемые функции:

– *pressure*: выполняет запрос к базе данных для получения данных о температуре и удельной теплоте парообразования при выбранном давлении;

– *Button1_Click*: Обработчик события нажатия кнопки "*Calculate*", выполняющий основной расчет параметров кипятильника ректификационной установки;

– *Button2_Click*: Обработчик события нажатия кнопки "*Reference*", открывающий справочник по давлению.

Используемые элементы управления:

– *абсолютное_давление_кг_с_ComboBox*: Выпадающий список для выбора абсолютного давления.

– *textBox1*: Поле ввода температуры входной смеси;

– *textBox2*: Поле ввода расхода кубового остатка;

– *textBox3*: Поле ввода температуры выходной смеси;

– *textBox4*: Поле ввода давления;

– *button1*: Кнопка для расчета параметров кипятильника;

– *checkBox1*: Флажок для указания наличия параметра;

– *textBox5*: Поле ввода дополнительного параметра;

– *button2*: Кнопка для открытия справочника по давлению;

– *button3*: Кнопка для открытия справочника по плотности.

Формулы:

1. Расчет средней разности температур:

$$avg = \frac{(temperature - t_1) + (temperature - t_0)}{2} \quad (17)$$

2. Расчет средней температуры кубового остатка:

$$t_2 = temperature - avg \quad (18)$$

3. Расчет расхода кубового остатка: $V_2 = G_2 / \rho$;

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho} \quad (19)$$

4. Расчет расхода теплоты на нагрев кубового остатка:

$$Q = G_2 \cdot c_2 \cdot (t_0 - t_1) \quad (20)$$

5. Расчет расхода сухого греющего пара: $G_1 = Q / \text{specificHeat}$;

$$G_1 = \frac{Q}{\text{specificHeat}} \quad (21)$$

Алгоритм:

1. Инициализация переменных и параметров.
2. Получение выбранных значений для абсолютного давления, температур и других параметров.
3. Вычисление различных параметров, таких как средняя разность температур и расход кубового остатка.
4. Формирование строки с информацией о параметрах кипятильника и производимых расчетах.

SQL запрос:

– используется запрос к базе данных для получения температуры и удельной теплоты парообразования при указанном абсолютном давлении.

7) *FormCubicRemainder* предназначена для расчета параметров кубового остатка в трубном пространстве.

Функции:

- *button1_click*: обработчик события нажатия кнопки "*calculate*". выполняет расчет и отображение результатов в соответствующем текстовом поле;
- *button2_click*: обработчик события нажатия кнопки "*reference*". открывает справочник с характеристиками;

Используемые элементы управления:

- *combobox1*: выпадающий список для выбора абсолютного давления;
- *textbox1*: поле ввода воды на входе в теплообменник;
- *textbox2*: поле ввода воды на выходе в теплообменник;
- *textbox3*: поле ввода расхода кубового остатка;
- *textbox4*: поле ввода температуры;
- *button1*: кнопка для расчета параметров кубового остатка.

Алгоритм:

1. Инициализация переменных и параметров.
2. Вычисление среднего значения температуры *avg*.
3. Вычисление поверхности теплообмена *F*.

4. Формирование *SQL* запроса для поиска ближайшего значения F и соответствующих характеристик теплообменника.
5. Выполнение запроса к базе данных и получение результатов.
6. Обработка полученных данных и формирование строки *str* с информацией о характеристиках теплообменника.

SQL запрос:

- используется для поиска наиболее близкого значения f в базе данных, а также получения характеристик теплообменника, которые соответствуют этому значению;
- запрос содержит параметры, которые передаются из кода *C#*, такие как значение f ;
- в запросе используются условия и сортировка для нахождения наиболее близкого значения F и соответствующих характеристик теплообменника.

3.2 Руководство программиста

Windows Forms – это технология, разработанная компанией *Microsoft* для создания графического пользовательского интерфейса в приложениях на языке программирования *C#*. Она предоставляет разработчикам широкий набор элементов управления, которые могут быть использованы для создания интерактивных приложений, включая кнопки, текстовые поля, списки, таблицы и другие [22].

SQL Server Management Studio – это инструмент, разработанный компанией *Microsoft* для управления базами данных *SQL Server*. Он предоставляет пользователю широкий набор функций для работы с базами данных, включая создание таблиц, хранимых процедур и запросов *SQL*, а также управление пользователями, правами доступа и настройками базы данных [23].

Сочетание этих двух инструментов позволяет разработчикам создавать приложения с графическим пользовательским интерфейсом и обеспечивать хранение и обработку данных в базе данных *SQL Server*. Для этого необходимо создать подключение к базе данных в *SQL Server Management Studio* и использовать инструменты *Entity Framework* в *Visual Studio* для создания модели данных, которая будет связана с базой данных.

Затем можно использовать элементы управления *Windows Forms*, чтобы создать пользовательский интерфейс, который будет работать с моделью данных. Разработчики могут использовать язык программирования *C#* и инструменты *Visual Studio* для написания кода, который обрабатывает события, связанные с элементами управления и моделью данных [24].

Эта комбинация инструментов позволяет создавать приложения с высокой производительностью, кроссплатформенные и масштабируемые, которые могут быть использованы для различных целей, включая управление бизнес-процессами и создание веб-приложений.

Поскольку проект создается в среде программирования *Microsoft Visual Studio*, то требования к системе минимальны [24]:

- ПК с процессором, совместимым с *Intel Pentium*;
- устройства ввода и вывода;
- операционная система семейств *Windows*.

3.3 Руководство пользователя

После запуска программы, пользователя встречает главное меню (Рисунок 17).

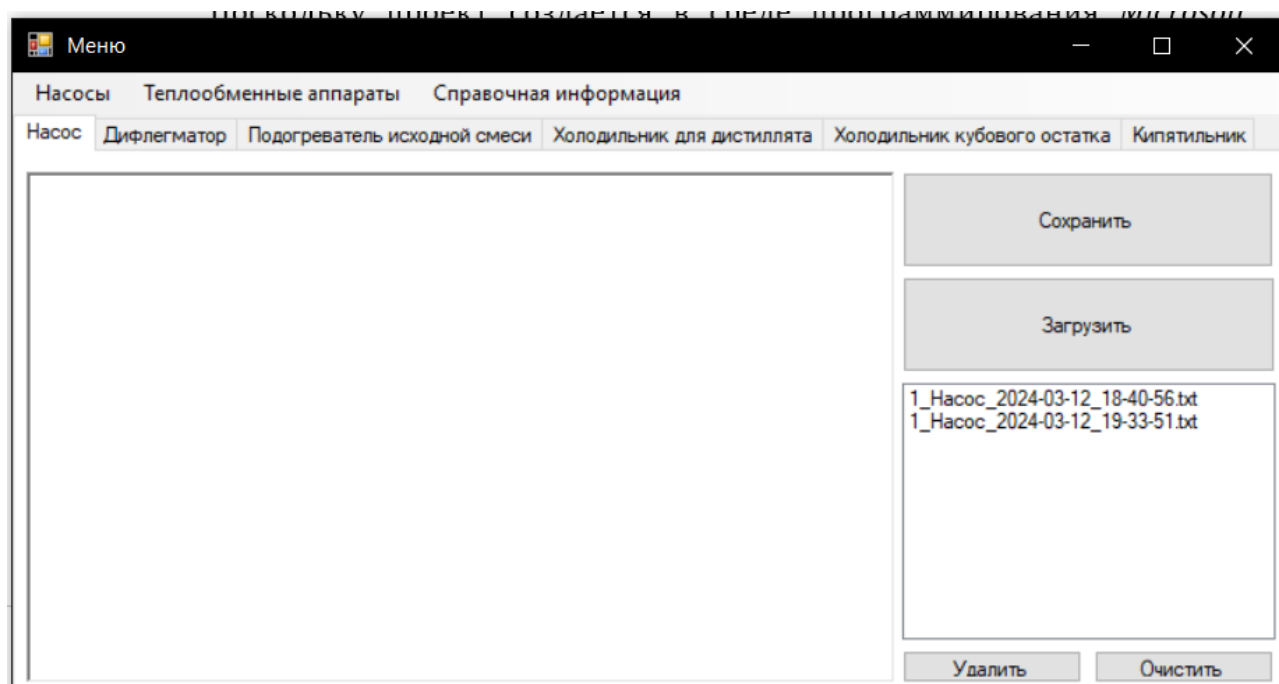


Рисунок 17 – Главное меню

В зависимости от задачи, выбирается соответствующий пункт в панели меню. В случае, если необходимо подобрать центробежный насос и электродвигатель к нему, либо ознакомиться с принципом работы, либо требования к ней, то вкладка «Насос» (Рисунок 18).

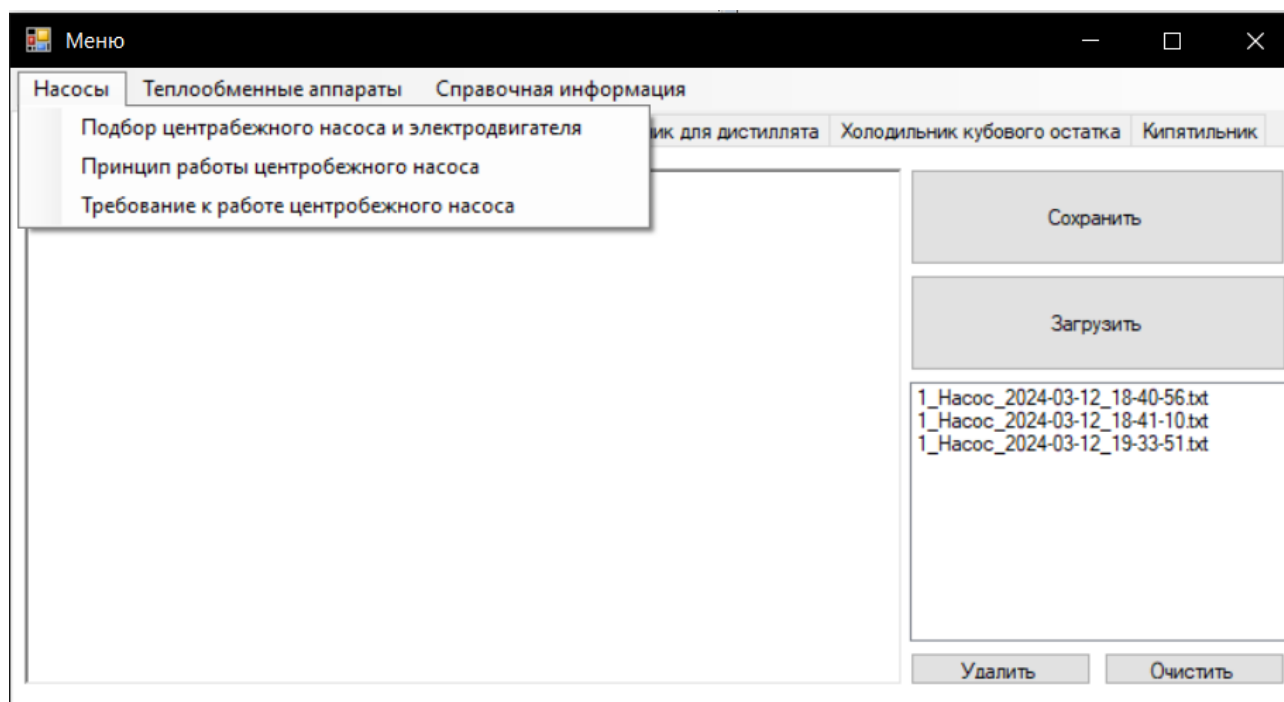


Рисунок 18 – Пункт меню «Насос»

Подпункты принцип работы и требования к работе центробежного насоса несут информативный характер, основной подпункт же представлен на рисунке 12, где происходят расчеты и подбирается насос с соответствующим электродвигателем (Рисунок 19 и 20).

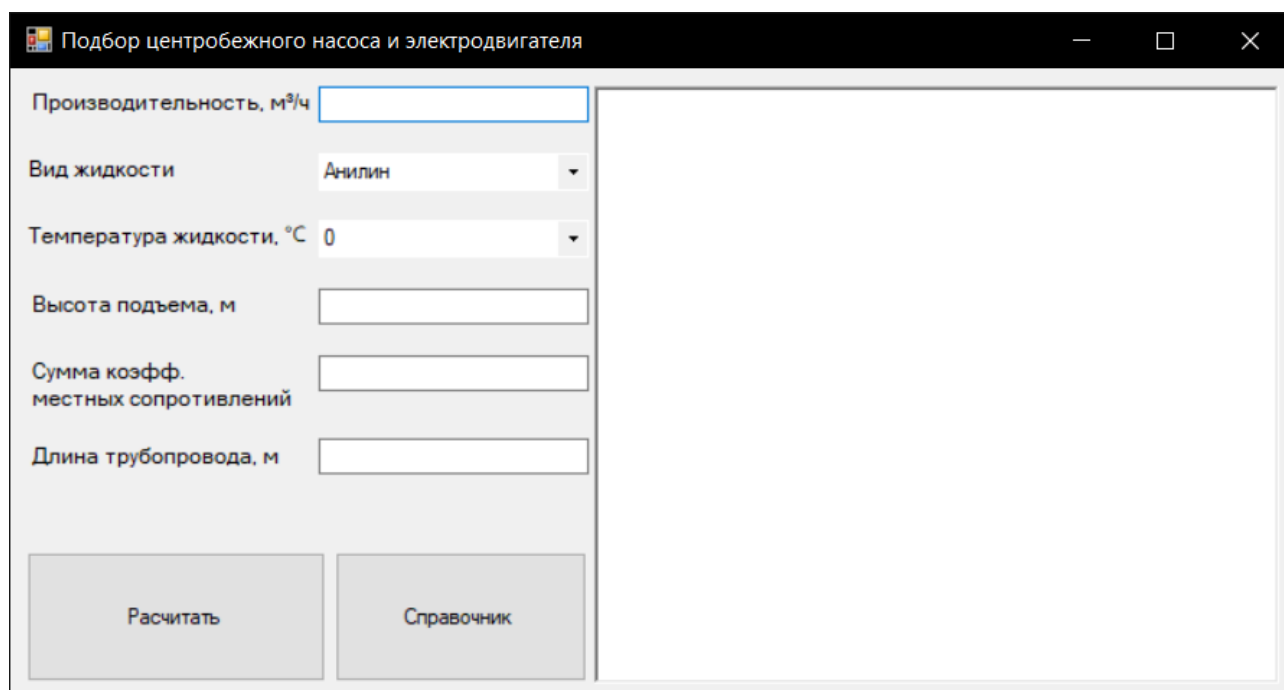


Рисунок 19 – Подпункт для подбора насоса и электродвигателя

Подбор центробежного насоса и электродвигателя

Производительность, м³/ч	45	Диаметр трубопровода: 0,103 м.
Вид жидкости	Вода	Плотность: 998 кг/м³
Температура жидкости, °C	20	Вязкость: 1 мПа/с
Высота подъема, м	20	Скорость: 1,5 м/с
Сумма коэфф. местных сопротивлений	10,35	Критерий рейнольдса: $1,5 \cdot 0,103 \cdot 998 / (1 \cdot 0,001) = 154240$
Длина трубопровода, м	35	Коэффициент трения: 0,016
		Потери на всасываемой линии: $(0,016 \cdot 35 / 0,103 + 10,35) \cdot (998 \cdot 3,375) / 2 = 17710$ Па.
		Потери напора на нагнетательной линии: $17710 / (998 \cdot 9,81) = 1,809$ м.
		Полный напор, развиваемый насосом: 21,809 м.
		Производительность: $45 / 3600 = 0,0125$ м³/с
		Марка насоса: X45/31
		Скорость вращения: 48,3 об/с
		Эффективность насоса: 0,6
		Электродвигатель: A02-52-2
		Мощность: 13 кВт
		Эффективность: 0,89

Расчитать Справочник

Рисунок 20 – Подобранный насос и электродвигатель

Также подобранный насос и электродвигатель дублируется на вкладке «Насос» в главной форме, чтобы технолог мог просмотреть подбор и при необходимости сохранить на соответствующую кнопку, а позже и загрузить, для этого достаточно выбрать нужное сохранение и нажать на кнопку «Загрузить», когда потребуется (Рисунок 21).

Меню

Насосы Теплообменные аппараты Справочная информация

Насос Дифлегматор Подогреватель исходной смеси Холодильник для дистиллята Холодильник кубового остатка Кипятильник

<p>Диаметр трубопровода: 0,103 м.</p> <p>Плотность: 998 кг/м³</p> <p>Вязкость: 1 мПа/с</p> <p>Скорость: 1,5 м/с</p> <p>Критерий рейнольдса: $1,5 \cdot 0,103 \cdot 998 / (1 \cdot 0,001) = 154240$</p> <p>Коэффициент трения: 0,016</p> <p>Потери на всасываемой линии: $(0,016 \cdot 35 / 0,103 + 10,35) \cdot (998 \cdot 3,375) / 2 = 17710$ Па.</p> <p>Потери напора на нагнетательной линии: $17710 / (998 \cdot 9,81) = 1,809$ м.</p> <p>Полный напор, развиваемый насосом: 21,809 м.</p> <p>Производительность: $45 / 3600 = 0,0125$ м³/с</p> <p>Марка насоса: X45/31</p> <p>Скорость вращения: 48,3 об/с</p> <p>Эффективность насоса: 0,6</p> <p>Электродвигатель: A02-52-2</p> <p>Мощность: 13 кВт</p> <p>Эффективность: 0,89</p>	<p>Сохранить</p> <p>Загрузить</p> <p>1_Насос_2024-03-12_18-40-56.txt</p> <p>1_Насос_2024-03-12_18-41-10.txt</p> <p>1_Насос_2024-03-12_19-33-51.txt</p> <p>Удалить Очистить</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Рисунок 21 – дублирование на главную форму

Если необходимо посчитать теплообменные аппараты, либо ознакомиться с принципом работы, либо требования к ним, то соответствующий пункт представлен на рисунке рисунок 22 и 23.

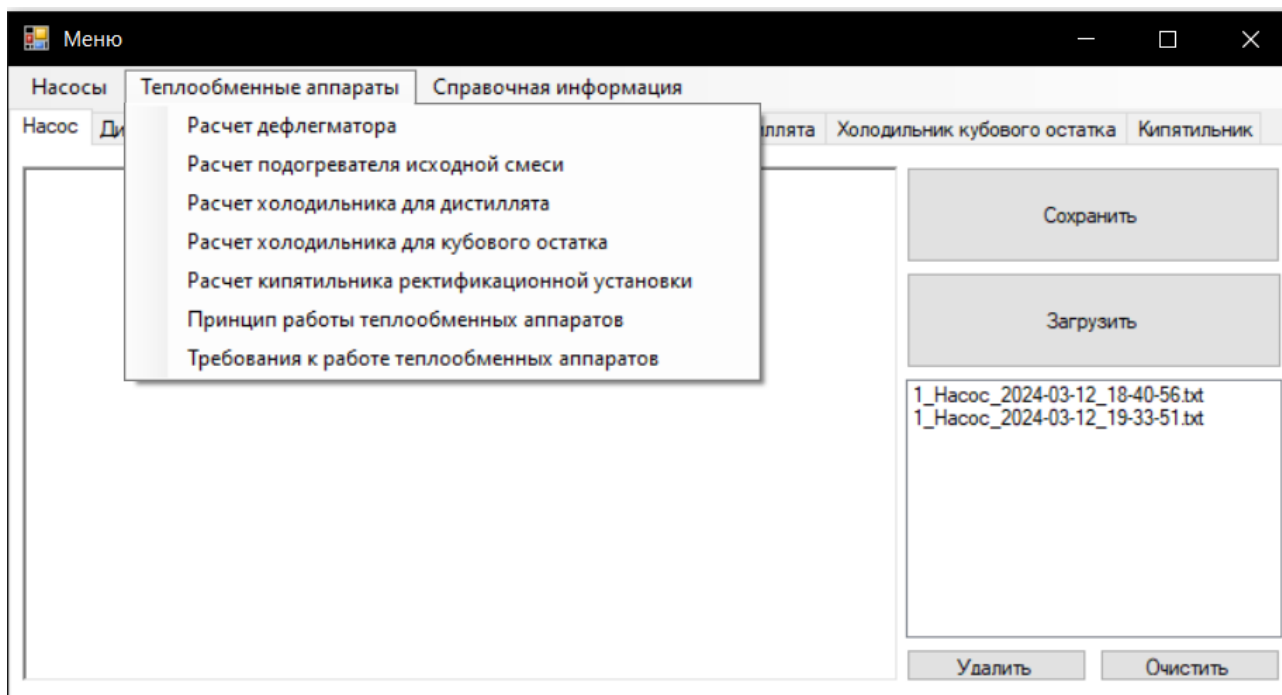


Рисунок 22 – Пункт меню «Теплообменные аппараты»

В качестве примера был рассчитан дефлегматор (Рисунок 23).

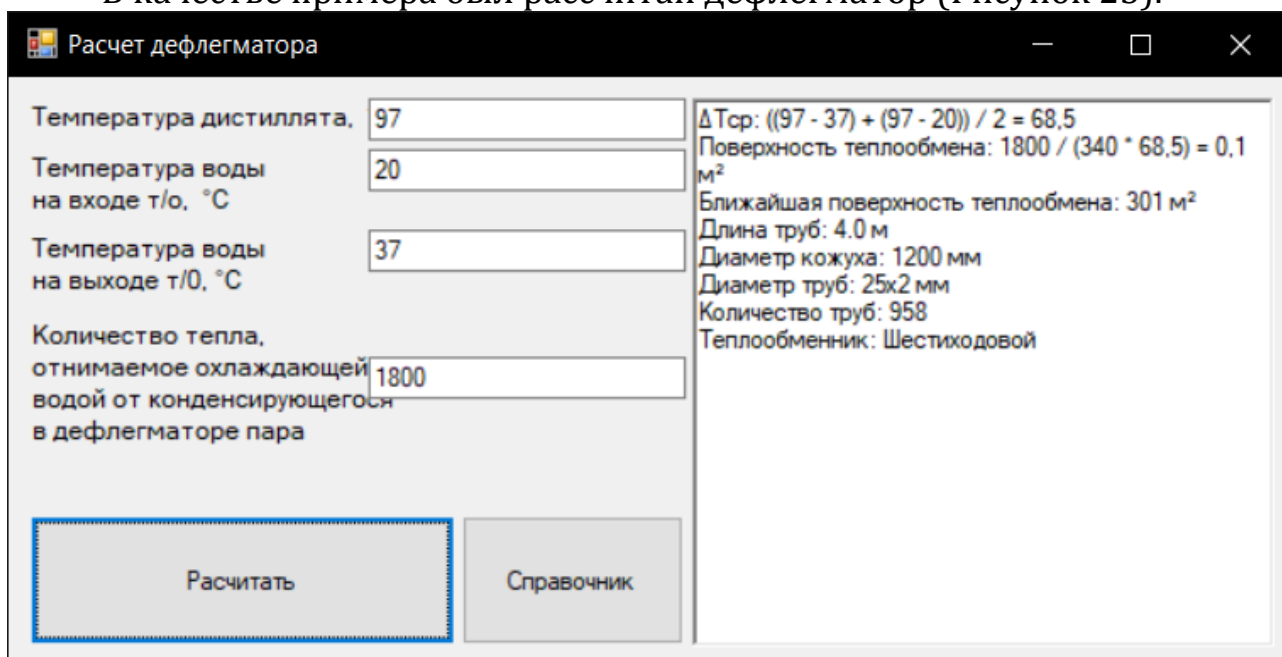


Рисунок 25 – Расчет дефлегматора

Он также продублировался на соответствующей вкладке (Рисунок 26).

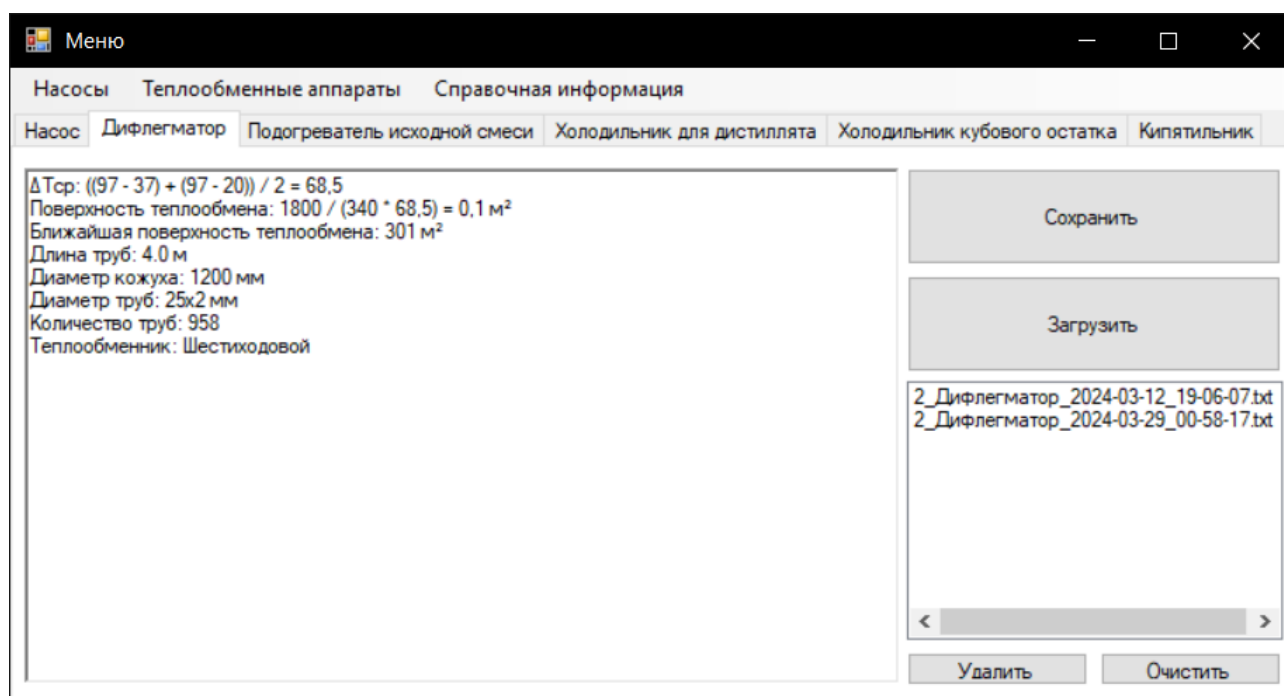


Рисунок 26 – Дефлегматор

Вкладка справочная информация содержит таблицы из базы данных (Рисунок 27), для примера был выбран подпункт «Характеристики теплообменников» (Рисунок 28).

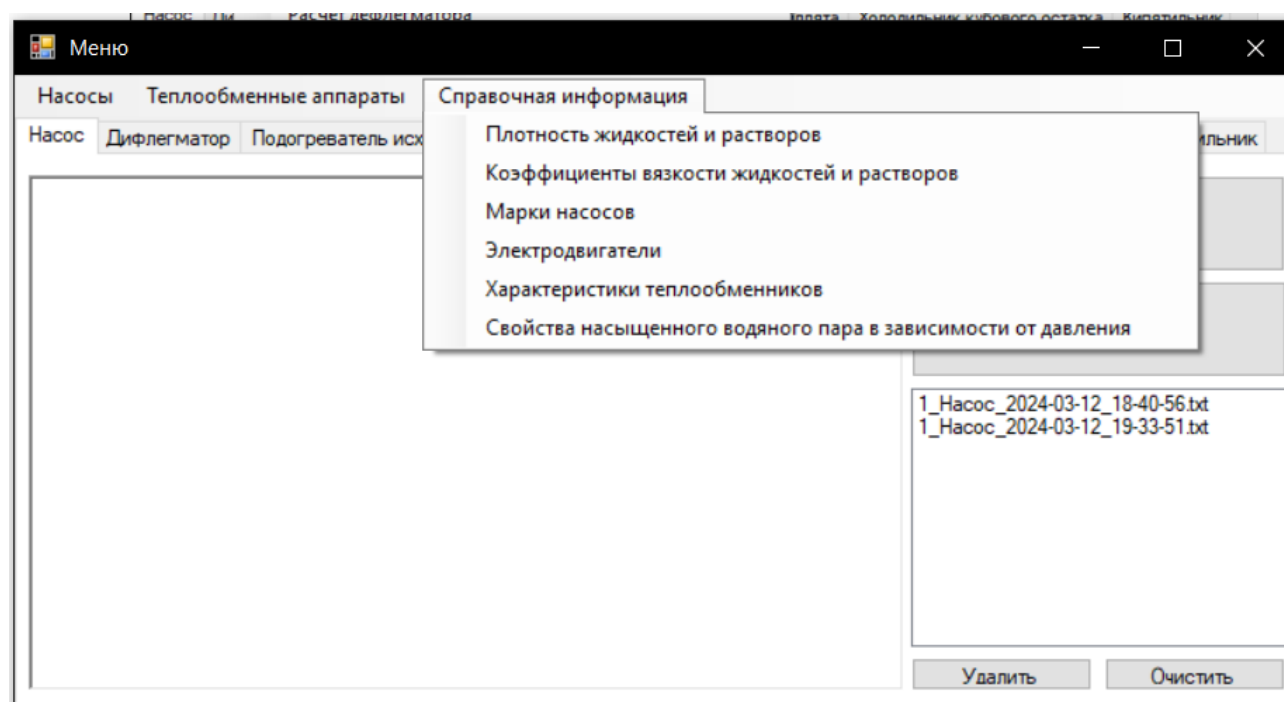


Рисунок 27 – Пункт меню «Справочная информация»

ID	Диаметр кожуха внутренний D, мм	Число труб, п	Число ходов	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	9.0
1	159	13	Одноходовой	1	1,5	2	3	0	0	0
2	273	37	Одноходовой	3	4,5	6	9	0	0	0
3	325	62	Одноходовой	0	7,5	10	14,5	19,5	0	0
4	400	111	Одноходовой	0	0	17	26	35	52	0
5	600	257	Одноходовой	0	0	40	61	81	121	0
6	800	465	Одноходовой	0	0	73	109	146	219	329
7	1000	747	Одноходовой	0	0	0	176	235	352	528
8	1200	1083	Одноходовой	0	0	0	0	340	510	765
9	325	56	Двухходовой	0	0	9	13	17,5	0	0
10	400	100	Двухходовой	0	6,5	16	24	31	47	0
11	600	240	Двухходовой	0	0	38	57	75	113	0
12	800	442	Двухходовой	0	0	69	104	139	208	312
13	1000	718	Двухходовой	0	0	0	169	226	338	507
14	1200	1048	Двухходовой	0	0	0	0	329	494	740
15	600	206	Четырехходовой	0	0	32	49	65	97	0
16	800	404	Четырехходовой	0	0	63	95	127	190	285
17	1000	666	Четырехходовой	0	0	0	157	209	314	471
18	1200	986	Четырехходовой	0	0	0	0	310	464	697
20	600	196	Шестиходовой	0	0	31	46	61	91	0
21	800	384	Шестиходовой	0	0	60	90	121	181	271
22	1000	642	Шестиходовой	0	0	0	151	202	302	454
23	1200	958	Шестиходовой	0	0	0	0	301	451	677

Рисунок 28 – Характеристика теплообменников

3.4 Тестирование программы

Тестирование программы – это этап, на котором проверяется, как показывает себя программа, на как возможно большем количестве входных наборов данных, включая и на заведомо неверных.

Необходимо привести сведения о:

- работоспособности программного продукта;
- возможности выполнения всех заданных в техническом задании транзакций;
- поведении программного продукта при ошибочных действиях пользователя (неправильный ввод данных, внештатное прерывание работы программного продукта, попытка обращения к недоступным для него данным и т. п.).

Результаты тестирования оформим в виде таблицы, имеющей следующую структуру (Таблица 5).

Таблица 5 – Результаты тестирования

№	Цель испытания	Результат
1	Пустые поля при вводе ФИО и группы	Ничего не происходит
2	При незаполненных полях начать проверять на правильность	Требуется добавить исключение
3	Ввод символов и букв в поля для ввода э вершин	Требуется доработка

Исправлен ряд ошибок, были внесены корректировки в интерфейс и код программы.

Также были предусмотрены некоторые исключительные ситуации:

```
if (textBox1.Text != "" && textBox2.Text != "")
{
    if (comboBox1.SelectedItem != null)
    {
        switch (comboBox1.SelectedIndex)
        {
            case 0:
                MessageBox.Show("Вы ничего не выбрали!", "Ошибка");
                break;
            case 1:
                MessageBox.Show("Вы не заполнили одно из полей", "Ошибка");
                break;
            case 2:
                MessageBox.Show("Заполните поля!", "Ошибка");
                break;
        }
    }
}
```

2. Исключаем ситуацию, чтобы не было возможности при пустых полях начать проверять поля с ответом, в конструкторе формы выключаем кнопку свойством *Enabled*, а при нажатии на кнопку «Приступить» будет включаться кнопка «Проверить» (Рисунки 30 и 31).

Рисунок 30 – Включение кнопки при нажатии

Рисунок 31 – Выключение кнопки через свойства

```
private: System::Void Oper1_KeyPress_1(System::Object^ sender, System::Windows::Forms::KeyPressEventArgs^ e) {
    if ((e->KeyChar < 48 || e->KeyChar > 57) && (e->KeyChar != '\b'))
        e->Handled = true;
}
```

3.5 Вывод по главе

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной дипломной работы была проведена аналитическая и проектная части, а также разработана программа для решения конкретной задачи в области инженерной практики.

Аналитическая часть работы включала в себя обзор основных компонентов системы, таких как центробежные насосы, теплообменные аппараты и вспомогательное оборудование в ректификационных установках. Также был проведен анализ существующих программных продуктов. Этот этап позволил получить полное представление о существующих решениях и требованиях к новой программе. Также был проведен выбор инструментального средства для реализации системы управления базами данных.

В проектной части работы было разработано концептуальное, логическое и физическое проектирование программы. Этот этап позволил определить основные архитектурные и технические решения, необходимые для разработки программы.

Результатом работы стало создание программы, которая успешно решает поставленную задачу. При этом были учтены все требования, выявленные на этапе анализа, и реализованы основные архитектурные принципы, определенные на этапе проектирования.

Таким образом, дипломная работа представляет собой комплексный подход к решению конкретной задачи в области инженерной практики и может быть использована в качестве основы для дальнейших исследований и разработок в данной области.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Центробежные насосы: сайт. – Новосибирск, 2023 – . – URL: <https://centrifugalpumps.ru> (дата обращения 20.03.2024). – Текст: электронный.
2. Принципы работы центробежных насосов: сайт. – Москва, 2024 – . – URL: <https://pumpprinciples.ru> (дата обращения 20.03.2024). – Текст: электронный.
3. Применение центробежных насосов в промышленности: сайт. – Санкт-Петербург, 2023 – . – URL: <https://industrialpumps.ru> (дата обращения 26.05.2024). – Текст: электронный.
4. Выбор и эксплуатация центробежных насосов: сайт. – Воронеж, 2024 – . – URL: <https://pumpselection.ru> (дата обращения 20.03.2024). – Текст: электронный.
5. Современные технологии в центробежных насосах: сайт. – Уфа, 2023 – . – URL: <https://modernpumps.ru> (дата обращения 20.03.2024). – Текст: электронный.
6. Теплообменные аппараты: сайт. – Екатеринбург, 2023 – . – URL: <https://heatexchangers.ru> (дата обращения 22.03.2024). – Текст: электронный.
7. Типы и конструкции теплообменных аппаратов: сайт. – Нижний Новгород, 2024 – . – URL: <https://heatexchangetypes.ru> (дата обращения 22.05.2024). – Текст: электронный.
8. Применение теплообменных аппаратов: сайт. – Казань, 2023 – . – URL: <https://heatexchangerapplications.ru> (дата обращения 22.03.2024). – Текст: электронный.
9. Эффективность теплообменных аппаратов: сайт. – Самара, 2024 – . – URL: <https://heatexchangerefficiency.ru> (дата обращения 22.03.2024). – Текст: электронный.
10. Инновации в теплообменных аппаратах: сайт. – Омск, 2023 – . – URL: <https://heatexchangerinnovation.ru> (дата обращения 22.03.2024). – Текст: электронный.
11. Вспомогательное оборудование в ректификационных установках: сайт. – Пермь, 2024 – . – URL: <https://auxiliaryequipment.ru> (дата обращения 25.03.2024). – Текст: электронный.
12. Обзор вспомогательного оборудования для ректификационных установок: сайт. – Тюмень, 2023 – . – URL: <https://auxiliaryoverview.ru> (дата обращения 28.03.2024). – Текст: электронный.
13. Применение вспомогательного оборудования в ректификации: сайт. – Волгоград, 2024 – . – URL: <https://rectificationequipment.ru> (дата обращения 28.3.2024). – Текст: электронный.
14. HTRI Xchanger Suite: сайт. – Москва, 2024 – . – URL: <https://htrixchangersuite.ru> (дата обращения 3.04.2024). – Текст: электронный.
15. Aspen Exchanger Design & Rating (EDR): сайт. – Санкт-Петербург, 2024 – . – URL: <https://aspenedr.ru> (дата обращения 6.04.2024). – Текст: электронный.
16. Engineering Equation Solver (EES): сайт. – Новосибирск, 2023 – . – URL: <https://eesolver.ru> (дата обращения 8.04.2024). – Текст: электронный.
17. Comsol Multiphysics: сайт. – Екатеринбург, 2023 – . – URL: <https://comsolmultiphysics.ru> (дата обращения 7.04.2024). – Текст: электронный.

18. *CFDEDA*: сайт. – Казань, 2024 – . – URL: <https://cfzeda.ru> (дата обращения 9.04.2024). – Текст: электронный.
19. *Oracle Database*: сайт. – Нижний Новгород, 2024 – . – URL: <https://oracledatabase.ru> (дата обращения 10.04.2024). – Текст: электронный.
20. Администрирование *Oracle Database*: сайт. – Пермь, 2023 – . – URL: <https://oracleadmin.ru> (дата обращения 13.04.2024). – Текст: электронный.
21. Настройка *Oracle Database*: сайт. – Тюмень, 2024 – . – URL: <https://oraclesetup.ru> (дата обращения 15.04.2024). – Текст: электронный.
22. Руководство программиста для *Visual Studio C#*: сайт. – Москва, 2024 – . – URL: <https://vsccsharpguide.ru> (дата обращения 8.05.2024). – Текст: электронный.
23. Руководство программиста для *MySQL Management*: сайт. – Екатеринбург, 2024 – . – URL: <https://mysqlmanagementguide.ru> (дата обращения 8.05.2024). – Текст: электронный.
24. Программирование на *C#* в *Visual Studio*: сайт. – Санкт-Петербург, 2023 – . – URL: <https://csharpvisualstudio.ru> (дата обращения 10.05.2024). – Текст: электронный.