

Реферат

Дипломная работа в количестве 107 страниц, 8 рисунков, 21 таблица, 39 литературных источников, 6 листов графического материала.

Ключевые слова: гудрон, битум, углеводороды, нефть, окисление.

Объектом разработки является установка получения окисленного битума производительностью 25 тыс. тонн в год.

Целью выпускной квалификационной работы является проект установки производства окисленного гудрона.

В дипломном проекте разобран процесс окисления нефтяных битумов.

В работе было выполнено:

- инженерные расчеты;
- механический расчет;
- разработана схема автоматического управления технологическим процессом, позволяющая уменьшить трудоёмкость процесса.
- приведены расчеты основных технико-экономических показателей, по которым видно, что проект установки получения окисленного битума является экономически эффективным.

Abstract

Thesis in the amount of 107 pages.,8 figures, 21 tables, 39 references, 6 sheets of graphic material. Keywords: tar, bitumen, hydrocarbons, oil, oxidation. The object of the development is the installation for production of oxidized bitum with a capacity of 25 thousand tons per year. The aim of the WRC project is the installation of oxidation of the sludge. The thesis project analyzed the process of oxidation of bitumen.

The work was completed:

- engineering calculations;
- mechanical calculation;
- developed a scheme of automatic control of technological process, allowing to reduce the complexity of this process. - the calculations of main technical and economic indicators, which can be seen that the setup project of obtaining oxidized bitumen is cost-effective.

Оглавление	
Реферат	7
Введение	11
1. Теоретическая часть	13
1.1. Способы получения битумов.	13
1.2. Классификация битумов по областям применения.....	15
1.4. Структурные типы битумов.....	18
1.5 Состав битумов.....	19
1.6. Сырье для производства битума.....	22
1.7 Основные физико-химические свойства битумов.	24
1.8 Условия процесса получения битумов.....	27
1.9. Технологические схемы процесса получения окисленных битумов.....	30
1.10 Характеристика сырья и готовой продукции	37
1.10.1.Характеристика исходного сырья	37
1.10.2.Характеристика готового продукта.	37
2 Инженерные расчеты	39
2.1 Принципиальная технологическая схема производства с описанием.	39
2.2 Материальный расчет	41
2.3 Тепловой расчет основного аппарата.....	45
2.4 Гидравлический расчет	48
2.4.1 Технологический расчет основного аппарата.	48
2.4.2. Расчет диаметров штуцеров.....	51
2.4.3.Расчет на прочность	52
2.4.4. Расчет на прочность	54
2.4.5. Расчет опор	54

2.4.6. Выбор фланцев	56
2.4.7. Расчет тепловой изоляции	56
2.5 Подбор вспомогательного оборудования	57
3 Контроль производства.....	64
3.1 Автоматизация.....	64
4 Финансовый менеджмент	66
4.1 Анализ эффективности действующего производства	66
4.1.1 Расчет производственной мощности и производственной программы.	66
4.2 Расчет годового фонда заработной платы персонала установки	68
4.3 Расчёт стоимости основных производственных фондов и амортизационных отчислений от них	74
4.4 Планирование себестоимости продукции.....	78
5 Социальная ответственность	83
5.1 Производственная безопасность	Ошибка! Закладка не определена.
83	
5.1.1 Химические факторы	85
Устранение яда из производственного процесса	86
Вентиляция помещений.....	Ошибка! Закладка не определена.
86	
Коллективные и индивидуальные средства защиты работающих.	87
5.1.2 Физические вредные факторы	88
5.1.3 Физические опасные факторы	91
5.2 Экологическая безопасность	95
5.2.1 Защита атмосферы.....	95

5.2.2 Защита гидросферы	Ошибка! Закладка не определена.
96	
5.2.3 Защита литосферы.....	96
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	96
5.3.1 Анализ чрезвычайных ситуации (ЧС).....	96
5.3.2 Защита персонала и территории в чрезвычайных ситуациях	97
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	98
5.4.1 Трудовое законодательство	98
5.4.2 Компоновка оборудования	99
Заключение	101
Список использованных источников	102

Введение

Битум в России и за рубежом является самым многотоннажным видом нефтепродуктов. Ужесточение требований к качеству битума и увеличение потребления дорожного битума приводит к необходимости совершенствовать и увеличивать мощности технологических процессов получения окисленных битумов.

Спектр применения битума широк, его применяют для строительства и ремонта дорог, аэродромов, в гражданском, и промышленном строительстве (изготавливают кровельные материалы, для изоляции трубопроводов от грунтовой коррозии, лакокрасочные материалы).

Доля дорожных покрытий в России, с применением битума относительно усовершенствованных покрытий, составляет 93–95 %

Использование нефтяных битумов в строительстве и ремонте дорог, составляет: в РФ – 35 %, в западноевропейских странах – 79,8 %, в США – 73,6 %. Качество служит определяющим фактором, в обеспечении долговечности дорожных покрытий нефтяным битумом. До 70 % выпускаемых в России и странах СНГ битумов не соответствуют качеству, по ассортименту и требованиям современного рынка. В основном это относится к битумам дорожного, специального и строительного назначений Из –за низкого качества дорожных битумов в среднем 6–7 лет срок службы дорог в России, 10–15 лет. в развитых зарубежных странах .

В нашей стране сложилось так, что промышленность нефтепереработки в большей степени заинтересована в углублении процесса максимального отбора светлых фракций, при этом полностью отсутствует база нефтепереработки, которая специально занималась бы производством дорожных битумов, хорошего качества. [1]

Ряд факторов, оказывающих существенное влияние на развитие и состояние битумного производства в России:

Первый фактор. Сезонность выработки основных марок дорожных битумов. Это связано с четко определенными периодами выполнения дорожно – строительных работ. Этот фактор является проблемным для нефтеперерабатывающих предприятий с непрерывным режимом работы.

Второй фактор. Сложность проведения технологических операций с высокозастывающим и высоковязким продуктом, как битум. И система ценообразования, при которой цена битума составляет 60-70 % от цены сырья. Экономическим стимулом для совершенствования битумного производства является низкий уровень таможенных пошлин при экспорте дорожных битумных материалов.

Третий фактор. Невозможность контролирования показателей качества сырья, которое поступает на переработку. Небольшие колебания состава сырья – содержание ароматических, парафиновых углеводородов, асфальтенов и других компонентов имеют значительное влияние на качество полученных битумов. [2]

1. Теоретическая часть

Способы получения битумов.

Битумы можно получать одним из трех способов:

- 1- глубокой вакуумной перегонкой мазута (остаточные битумы);
- 2- компаундированием остаточных и окисленных продуктов (компаундированные битумы);
- 3-окислением остаточных нефтепродуктов воздухом при высоких температурах (окисленные битумы).

Остаточные битумы получают как кубовые остатки (выкипающие выше 450-500 °С) процессов первичной переработки специальных тяжелых нефтей. Для получения остаточных битумов используют только сырье с большим содержанием смолисто-асфальтеновых веществ, присутствующие в достаточном количестве в тяжелых высокосмолистых нефтях.

Компаундированные битумы получают смешением различных остаточных и окисленных битумов, и других нефтяных остатков, полупродуктов производства, тяжелых дистиллятов.

Окисленные битумы получают окислением тяжелых остатков переработки нефти (выше 400-450°С) или их смесей с различными экстрактами, смолами или другими тяжелыми полупродуктами нефтепереработки кислородом воздуха при 250-280°С. Производство окисленных битумов можно классифицировать по типу используемого окислительно-реакционного аппарата. Процесс окисления может быть проведен в кубах, в необогреваемых трубчатых (змеевиковых) реакторах, бескомпрессорных реакторах и окислительных колоннах.

От качества сырья зависит качество готовых битумов. А для окисленных битумов еще и от продолжительности окисления, температуры, и расхода воздуха. Чем больше содержание смолисто-асфальтеновых компонентов в нефти и чем выше отношение асфальтены: смолы и чем меньше содержится твердых парафинов, тем выше качество получаемых битумов и проще технология их производства. Наихудшим сырьем для производства битумов являются

высокопарафинистые нефти. Высокое содержание парафина в нефтях отрицательно воздействует на важные эксплуатационные свойства битума: прилипаемость к минеральным покрытиям и прочность. Нефти, для получения битума, должны быть хорошо обессолены.

Окисленные битумы получают одновременным воздействием на нефтяные остатки высокой температуры и кислородом воздуха. При повышении температуры ускоряется процесс. Недопустимые реакции образования карбенов и карбоидов ускоряются при слишком высокой температуре.

Время окисления зависит от качества сырья и требуемого качества битума. Для получения более твердого битума время окисления должно быть больше. Обычно продолжительность процесса окисления составляет 18—40 часов. Температура процесса 250—280 °С [2]

Классификация битумов по областям применения.

Битумы классифицируют по областям применения как дорожные, изоляционные, кровельные, строительные, битумы специального назначения.

Изоляционные нефтяные битумы применяются для изоляции трубопроводов с целью защиты их от коррозии, а также для приготовления заливочных аккумуляторных мастик.

Кровельные битумы применяют для изготовления кровли и производства кровельных материалов. Их разделяют на пропиточные и покровные (для пропитки основы и получения покровного слоя)

Строительные нефтяные битумы применяют при выполнении ремонтно-строительных работ, для гидроизоляции фундаментов зданий.

Для приготовления лакокрасочных материалов, для окрашивания металлических конструкций и сооружений, в шинной и электротехнической промышленности используют битумы специального назначения.

Дорожные вязкие нефтяные битумы используют для производства всех основных видов ремонтов и строительства дорожных покрытий.

Жидкие нефтяные битумы используют для продления сезона дорожных работ.[2]

1.3 Физико-химическая сущность процесса.

Процесс окисления сырья до битума представляет собой гетерогенную реакцию между газовой (воздух) и жидкой (гудрон) фазами.

С химической точки зрения процесс окисления –это не только реакции присоединения кислорода, но и реакции отщепления водорода. Окисление гудрона до битума осуществляется в окислительных аппаратах путем продувки воздуха через слой жидкости. При этом молекулярный кислород взаимодействует с составными компонентами сырья. Процесс включает большое количество параллельно-последовательных реакций, протекающих по радикальному механизму.

В процессе окисления различают следующие типичные реакции:

-реакции, в которых происходит значительное увеличение размера молекул;

-реакции, в которых размеры молекул изменяются незначительно или не изменяются.

-реакции в которых размеры молекул уменьшаются;

-концентрация с отгонкой легких углеводородных фракций. [2]

Окисления нефтяных углеводородов кислородом воздуха проходит одновременно в двух направлениях:

Углеводороды	Кислоты	Оксикислоты	Асфальтеновые кислоты	
	Смолы	Асфальтены	Карбены	Карбоиды

В зависимости от условий окисления возможны взаимные превращения кислых и нейтральных продуктов окисления.

Большая часть кислорода, взаимодействующая с компонентами гудрона, вызывает реакции дегидрогенизации и уносится с отходящими газами в виде соединений (в основном, пары воды и диоксид углерода). Остальная часть кислорода химически связывается в виде окисленных соединений. Основное количество кислорода, связанного в окисленном битуме, находится в виде сложноэфирных групп.

В среднем на них приходится 60 % связанного кислорода и 40 % распределяется примерно поровну между гидроксильными, карбонильными и карбоксильными группами. Количество в окисленном битуме химически связанного кислорода увеличивается с повышением ароматичности нефтяного остатка и понижением температуры окисления. По мере углубления окисления, соотношение содержания углерода к водороду в битуме повышается. Основное количество химически связанного кислорода с окислением битума находится в виде сложноэфирных групп (-COO) и в меньших количествах и гидроксильных (-OH), карбоксильных (-COOH) и карбонильных (=CO) группах. Соотношение групп зависит от природы сырья и условий процесса окисления (температуры и продолжительности процесса окисления[^] подачи воздуха. Образующиеся в процессе окисления низкомолекулярные органические продукты (дистиллят) - носят название отдув (черный соляр). Количество образующегося отдува зависит от содержания 'летучих' в сырье и глубины окисления. При глубине окисления, соответствующей температуре размягчения битума 50-60°C, образуется отдув в количестве 0,5-2,0% мас. на сырье.

Битум химически связывает тем меньше кислорода, чем выше температура размягчения битума. Основное количество кислорода, подаваемое воздухом на окисление, идет на образование воды 10-20%, на образование углекислого газа и лишь незначительная часть на образование органических веществ, содержащих кислород. Часть подаваемого кислорода в реакцию не вступает и уносится с отходящими газами. Процесс окисления гудрона сопровождается выделением тепла. Экзотермическая реакция окисления повышает температуру в зоне реакции. Тепловой эффект реакции зависит от химической природы сырья, глубины и условий окисления. Наименьший эффект наблюдается в начальной стадии окисления. При увеличении температуры окисления тепловой эффект снижается. Тепловой эффект реакции получения дорожных битумов колеблется от 45 до 150 ккал/кг, а для строительных до 250 ккал/кг. Для снятия тепла реакции применяется подача сырья в окислительный

аппарат с температурой меньшей, чем температура окисления, а также эксплуатации окислительных аппаратов без теплоизоляции.[2]

1.4. Структурные типы битумов

Битумы - это дисперсные системы свойства которых зависят не только от их состава, но и от структуры и характера взаимодействия входящих в их состав дисперсных частиц. По отсутствию или наличию взаимодействия между частицами битумы, по своей структуре делятся на гель (1 тип), золь-гель (3 тип) и золь (2 тип).

Гель - характеризуется наиболее значительными размерами сложной структурной единицы, связанными друг с другом в единый сплошной каркас в единый сплошной каркас с иммобилизованной дисперсионной средой. Битумы этой структуры содержат, как правило, свыше 25% мам. асфальтенов, менее 24 % мас. смол и более 50% мае. углеводов. При этом доля асфальтенов в общей сумме смолисто-асфальтеновых веществ составляет более 0,5, а соотношение количества асфальтенов к сумме количеств смол и углеводов - более 0,35.

Золь - дисперсная фаза битумов представлена сложной структурной единицей с минимальными размерами (наименьшая степень ассоциации асфальтенов), не взаимодействующими друг с другом и хаотически распределенными в сплошной дисперсионной среде. Битумы этого типа содержат не более 18% асфальтенов, свыше 36% смол и не более 48% углеводов. Доля асфальтенов в общей сумме асфальто-смолистых веществ составляет менее 0,34, а по отношению к сумме углеводов и смол - более 0,22.

Золь-гель - имеют промежуточные размеры и образуют промежуточную структуру (желательно для дорожных битумов).

Таким образом, в основе классификации структурных типов нефтяных битумов лежит различие в распределении в них сложной структурной единицы по размерам.

1.4 Состав битумов.

Таблица 1 –Элементный состав битумов

Элемент	% мас.
Углерод	80-85
Водород	8-11,5
Кислород	0,2-4
Сера	0,5-7
Азот	0,2-0,5

При применении разных методов разделения битумов, получают разные методы по числу групп, их содержанию и структуре. По методу Маркусона битумы разделяют на масла, смолы, асфальтены и асфальтогеновые кислоты и их ангидриды. Также пользуются и разделением битумов на асфальтены и мальтены, представляющие собой сумму смол и масел.

Масла. Масла снижают твердость и температуру размягчения битумов, увеличивают текучесть и испаряемость.

Элементный состав масел:

-углерод 85-88 %;

-водород 10-14 %;

-сера до 4,5 %;

Молекулярная масса масел 240-800, соотношение углерод водород обычно равно 0,55-0,66, плотность менее 1 г/см³.

Нафтенковые структуры масел содержат от 20 до 35 углеродных атомов, имеют плотность 0,82-0,87 г/см³, коэффициент рефракции 1,4-1,49, молекулярная масса 450-600.

Бициклические ароматические углеводороды имеют коэффициент рефракции 1,535-1,59, молярная масса 430-600. У полициклических коэффициент рефракции выше 1,59, молекулярный вес 420-670.

Смолы. При обычной температуре смолы представляют собой твердые вещества красно-бурого цвета. плотность 0,99-1,08 г/см³. Смолы характеризуют

пластичность, твердость и растяжимость битума. Относятся к высокомолекулярным органическим соединениям гетероциклической и циклической структуры высокой степени конденсации, соединенным между собой алифатическими цепями. Молекулярная масса смол – 300- 2500.

Элементный состав смол

-углерод 79-87 % мас;

-водород 8,5-9,5 %;

-кислород 1-10 %;

-сера 1-10%;

-азот до двух %;

Углеродный скелет молекул смол представляет собой полициклическую систему, по большей части состоящую из ароматических конденсированных колец с боковыми алифатическими цепями. Переход от смол к асфальтенам сопровождается повышением доли атомов углерода в ароматических структурах с увеличением степени конденсированности асфальтенов. Это подтверждается понижением содержания водорода и возрастанием соотношения углерод-водород. Число углеродных атомов в соединениях, из которых состоят смолы, достигает 80-100. Смолы, по сравнению с асфальтенами имеют большое число и длину алифатических цепей. Температура (по КиШ) размягчения смол 35-90 °С

Асфальтены. Асфальтены –твердые хрупкие вещества черного или бурого цвета. Не растворяются в насыщенных углеводородах нормального строения, в смешанных полярных растворителях, но легко растворимы в жидкостях с высоким поверхностным натяжением –бензоле и его гомологов, сероуглероде и четыреххлористом углероде.

Элементный состав асфальтенов в % мас.

-углерод 80-84;

-водород 7,5-8,5;

-сера 4,6-8,3;

-кислород до 6;

-азот 0,4-1;

Плотность асфальтенов более 1 г/см^3 . Молекулярная масса 1200-200000.

Продуктом уплотнения циклических соединений являются асфальтены, вплоть до создания пространственной структуры. Соотношение в асфальтенах степени цикличности в них ароматических, нафтеновых и гетероциклических колец, а также степени их конденсированности колеблется в широких пределах для асфальтенов широкого происхождения. Атомное соотношение углерод – водород для асфальтенов находится в пределах 0,94-1,3. Степень ароматичности 2,8-4,7.

Молекулы асфальтенов уменьшаются при глубоком окислении. Гибкость, подвижность и рыхлость теряются, растворимость ухудшается. Этими превращениями объясняется тот факт, что выделенные из окисленных битумов, вторичные асфальтены, характеризуются большой хрупкостью и отношением углерод – водород, меньшей молекулярной массой и растворимостью, чем асфальтены, содержащиеся в сырье.

Асфальтеновые кислоты и их ангидриды. Асфальтеновые кислоты и их ангидриды – вещества коричневого-серого цвета, консистенция густая смолистая. Асфальтеновые кислоты легко растворяются в спирте, хлороформе, и трудно – в бензине. Плотность не более 1 г/см^3 . Коллоидную структуру битума стабилизируют асфальтеновые кислоты и их ангидриды

Карбены и карбоиды. Высокоуглеродистыми продуктами высокотемпературной переработки нефти и её остатков являются карбены и карбоиды. Карбены нерастворимы в четыреххлористом углероде, а карбоиды – в сероуглероде.

1.6 Основные физико-химические свойства битумов.

Плотность.

Плотность является одной из самых важных характеристик битума. Она зависит от химического состава битума: увеличение содержания ароматических структур повышает его плотность, а увеличение содержания насыщенных соединений – уменьшает. Плотность при $20 \text{ }^\circ\text{C}$ битумов составляет $1,00-1,04 \text{ г/см}^3$.

Температура вспышки.

Температура вспышки битума и гудрона составляет обычно более 230 °С. По этому показателю судят о наличии низкокипящих фракций в сырье и готовом битуме, следовательно об их взрыво- и пожароопасности в процессе производства и применения битума.

Вязкость.

Вязкость более полно характеризует консистенцию битумов при разных температурах применения по сравнению с пенетрацией и температурой размягчения. Желательно, чтобы битум при прочих равных показателях обладал наибольшей вязкостью при максимальной температуре применения.

Удельная теплоемкость.

Удельная теплоемкость практически одинакова для различных битумов. Она увеличивается с повышением температуры: изменение теплоемкости битумов разной консистенции на 1°С равно 0,00032-0,00078 кал/(г·град).

Растворимость.

Избирательность растворителей влияет на состав извлекаемых асфальтенов, что важно при их разделении на узкие фракции. По растворимости в органических растворителях, помимо зольности и температуры вспышки, судят о чистоте битума. Зольность определяют одновременно с испытанием на растворимость. Допускаемое содержание золы в битуме не более 0,1%. Растворимость битумов в органических растворителях: хлороформе, бензоле, сероуглероде и четыреххлористом углероде, характеризует наличие примесей – минеральных и других твердых веществ (карбенов, карбоидов). В этих растворителях окисленные битумы растворяются более чем на 99%.

Показатель пенетрации.

Показатель пенетрации фиксирует глубину проникания стандартной иглы в битум при определенном режиме (температуре и нагруженности усилия). Пенетрация измеряется в десятых долях миллиметра.

Температура размягчения.

Важнейший показатель определяющий температуру фазового перехода битума из связно-дисперсного в свободно-дисперсное состояние - температура размягчения. Испытание проводят по ГОСТ 11506-73 методом «Кольцо и Шар» (КиШ).

Температура хрупкости.

Температура, при которой модуль упругости битума при длительности стандартного напряжения в 11 с имеет 1100 кг/см² или $1,0787 \cdot 10^8$ н/м², называется температурой хрупкости. Она соответствует фазовому переходу битума в упруго-хрупкое реологическое состояние. Методика данного испытания –многократный изгиб при одновременном увеличении температурных напряжений в тонком слое битума моделирует наиболее опасное напряженное состояние, которое возникает в покрытиях автомобильных дорог при резких перепадах температур в течение года в условиях интенсивного движения автотранспорта.

Растяжимость (дуктильность).

Пластичные свойства битумов, их способность к деформационным изменениям при стандартных нагрузках и напряжениях без разрушения структуры и потери сплошности, определяются значениями их растяжимости или дуктильности. Низкие значения этого показателя (менее 50 см при 25 °С) не всегда однозначно свидетельствуют о низких эксплуатационных свойствах дорожного битума. Растяжимость битумов при 25 °С характеризует степень структурированности и, следовательно, тип дисперсной структуры битума. Низкие значения показателя растяжимости при 25 °С свидетельствуют об усилении склонности битума к старению в процессе эксплуатации. Более 40 см растяжимость имеют дорожные нефтяные битумы.

Адгезия (прилипание).

Адгезия (прилипание) объясняется процессом образования двойного электрического поля на поверхности раздела минерального материала и пленки битума. Адгезия битумов зависит от полярности их компонентов и кислотности минерального материала. Её определяют по значению электропроводности

растворов битума в неполярных растворителях или по значению межфазного поверхностного натяжения. В стандартах РФ адгезионные свойства определяют по методу сцепления битума с минеральным материалом при воздействии на них воды.

Измерение массы после прогрева

Измерение массы после прогрева характеризует стабильность битума при продолжительном хранении при повышенных температурах. [2]

1.7 Условия процесса получения битумов

Окисленные битумы, получаемые из окисленных нефтяных остатков, чаще всего гудрона, наиболее широко используются в производстве дорожных покрытий.

На состав и физико-химические свойства товарного битума влияют технологические параметры процесса окисления.

Основными факторами, влияющими на процесс окисления гудрона, являются: **природа сырья** - нефти, **исходная условная вязкость гудрона**, зависящая от содержания в нем масел, смолистых соединений и асфальтенов, **температура окисления**, **расход воздуха** и, как следствие, **продолжительность окисления**. К числу таких факторов следует также отнести **давление в зоне реакции**, **подогрев сжатого воздуха**, подаваемого на окисление, **уровень жидкой фазы** в окислительной колонне. Соответствующим подбором сырья можно получать окисленные битумы различных марок. С понижением содержания масел в исходном гудроне повышаются растяжимость и температура вспышки битумов, понижаются их теплостойкость, пластичность и морозостойкость. Твердые парафиновые соединения, как и асфальтены влияют на формирование дисперсной фазы, а следовательно и на дисперсную структуру битума. Повышение содержания и-парафиновых соединений в сырье понижает растяжимость битумов, повышает расход воздуха и продолжительность окисления.

Парафино-нафтеновые соединения в сырье являются разжижителем и пластификатором, улучшающим свойства битума, их присутствие в сырье до 10 - 20 % желательно.

Присутствие серы и сернистых соединений в сырье способствует улучшению пластических свойств окисленных битумов и их пониженной температурой чувствительности. Содержание различных соединений в сырье в значительной мере предопределено химической природой нефти.

Температура процесса окисления

С повышением температуры процесса возрастает скорость окисления гудрона, понижается содержание кислорода в окисленном битуме, продолжительность процесса окисления и необходимый суммарный расход воздуха снижаются, степень использования кислорода воздуха повышается.

С повышением температуры выше 250 °С изменяются некоторые товарно-технические свойства битумов: температура хрупкости битума повышается, а пенетрация, растяжимость, теплостойкость и интервал пластичности окисленных битумов понижаются. В зависимости от природы сырья и требуемых свойств битума следует подбирать соответствующую температуру окисления. Для дорожных марок битумов рекомендуется температура окисления 250-290 °С, а для строительных марок битума не выше 320 °С.

При снижении температуры окисления до 190-220 °С скорость реакции становится очень мала, что экономически нецелесообразно.

Содержание свободного кислорода в газах окисления

Допускаемая концентрация свободного кислорода в горячих газах окисления установлена не выше 8 % об., а в охлажденных газах окисления не выше 10% об.

Давление

Улучшению качества окисленных битумов и интенсификации процесса окисления способствует увеличение давления в зоне реакции.

Повышенное давления в зоне реакции сокращает продолжительность окисления, улучшает диффузию кислорода в жидкую фазу, в результате конденсации увеличивается интервал пластичности получаемых битумов. Масляные пары из газовой фазы улучшаются тепло- и морозостойкость.

свойства получаемых битумов и состав можно регулировать правильным подбором давления в системе.

Давление обычно находится в пределах от 0,3 до 0,8 МПа. [2]

1.9 Характеристика сырья и готовой продукции

1.9.1.Характеристика исходного сырья

Гудрон.

Гудрон представляет собой остаток, образующийся в результате отгонки из нефти фракций, выкипающих в пределах 400-600 °С при атмосферном давлении и под вакуумом. Применяется в качестве сырья для производства битумов дорожных и строительных. В качестве сырья для битумной установки использован гудрон смеси западно-сибирских нефтей с вакуум-установки.

Таблица 2 –Характеристика гудрона.

Наименование показателя	Норма
Температура размягчения, по КИШ, °С;	36
Плотность, при 20 °С, кг/м ³	980
Температура вспышки в открытом тигле, °С	274
Содержание серы, % мас.	2,63
Вязкость условная при 80 °С на ВУБ	40-91
Содержание асфальтенов, % мас.	12

1.9.2.Характеристика готового продукта.

При окислении гудрона был получен битум марки БНД 60/90.

Таблица 3 –Характеристика битума дорожного БНД 60/90.

Свойства	Ед. измерения	Норма по ГОСТ (ТУ)
Плотность	кг/м ³	980
Температура Размягчения по КИШ, не ниже	°С	47
Хрупкости, не выше		-15
Вспышки, не ниже		230

Дуктильность (растяжимость), см, не менее при температуре: 25 °С 0 °С	См.	55 3,5
Индекс пенетрации		От минус 1,0 до + 1,0
Изменение температуры размягчения после прогрева, не более	°С	5
Глубина проникания иглы, не менее: при 25 °С при 0 °С	°С	61-90 20

Побочными продуктами процесса получения окисленных битумов являются отходящие газы и жидкий конденсат («черный соляр»). Соляр имеет плотность при 20 °С 880,0 кг/м³.

2 Инженерные расчеты

2.1 Принципиальная технологическая схема производства с описанием.

Из ректификационной колонны установки атмосферной перегонки нефти мазут подается в нижнюю часть вакуум–колонны **ВК**, расход регулируется по достижению уровня в колонне уровнемером **LIRA-1**, гудрон с температурой 153 °С, показание на термометре **ТИ-2** насосом **Н1** подается в среднюю часть колонны окисления **КО**. Одновременно с гудроном в колонну окисления **КО** подается воздух, предварительно подогретый в теплообменнике **Т** до температуры 60 °С, показание на термометре **ТИ-6**, теплом битума, выходящего из нижней части колонны окисления **КО**. В колонне окисления **КО**, температура в колонне 250 °С и давление 0,5 Мпа, показание на термометре **ТИ-7** и манометре **PI-8**, нагретый воздух поступает в распределительное устройство и барботирует через жидкий гудрон. В верхней части окислительной колонны **КО** установлен каплеотбойник для предотвращения уноса капель гудрона. Для аварийного сброса давления на колонне окисления **КО** установлен клапан ППК (пружинный предохранительный клапан прямого действия), срабатывающий при давлении на манометре **PIRA-5** - 0,6 МПа. После срабатывания клапана ППК газообразные продукты через огнепреградитель 7 поступают на факел. Окисленный битум с низа колонны окисления **КО** насосом **Н2** подается в емкость **Е1** для хранения битума, которая обогревается топочными газами, забираемыми из печи дожигания **П**. После обогрева емкости **Е1** для хранения битума, газ подают в адсорбер **А**. В процессе окисления из верхней части окислительной колонны **КО** удаляются продукты неполного сгорания (абгаз, содержащий азот, остатки

кислорода, углеводородные газы, углекислый газ), охлаждаются в холодильнике - конденсаторе **ХК** и поступают в сепаратор **С**. В сепараторе **С** конденсат («черный соляр») отделяется от газов. С низа сепаратора **С** насосом **Н2** «черный соляр» подается в емкость **Е2**. Часть «черного соляря» из емкости **Е2** идет на печь дожига **П**. Газы из верхней части сепаратора дожигаются в печи дожига **П**. Продукты сгорания очищаются угольным фильтром в адсорбере **А**, после чего удаляются в атмосферу.

2.2 Материальный расчет

Исходные данные:

- производительность установки по сырью $G_f = 25000$ тонн/год
- сырье – гудрон смеси западно-сибирских нефтей
- температура размягчения 36 °С
- плотность 980 кг/м³;
- марка получаемого битума БНД 60/90
- температура размягчения по КиШ 47 °С;
- выход битума составляет около $97,232$ % масс. на исходный гудрон [9].

Условия процесса:

- удельный расход воздуха $g_{\text{возд.}} = 95$ м³/т;
- температура процесса окисления $t = 250$ °С;
- давление процесса $P = 0,5$ МПа;
- объемная скорость подачи гудрона $w = 0,30$ ч⁻¹.

Расчет материального баланса колонны.

Переводим производительность установки из размерности т/год в кг/ч по формуле (1).

Среднее число рабочих дней в году 220 дней

$$G_c = \frac{G_f \cdot 10^3}{n \cdot 24}, \text{ кг/ч.} \quad (1)$$

где G_f - производительность по сырью, т/год;

n - число рабочих дней работы установки в году.

$$G_c = \frac{25000 \cdot 1000}{220 \cdot 24} = 4734,8 \text{ кг/ч,}$$

Выход готового продукта G_b , кг/ч,

$$G_b = \frac{B_b}{100} \cdot G_c, \text{ кг/ч.} \quad (2)$$

где B_b – выход битума на сырье, % масс;

G_c - производительность установки, кг/ч.

$$G_b = \frac{97,232}{100} \cdot 4734,8 = 4603,7 \text{ кг/ч.}$$

Общий расход воздуха $G_{\text{возд}}$, кг/ч,

$$G_{\text{возд}} = \frac{X_{\text{возд}} \cdot G_{\text{с}}}{100}, \text{ кг/ч} \quad (3a)$$

где $X_{\text{возд}}$ – расход воздуха, % масс;

$G_{\text{с}}$ - производительность установки, кг/ч.

$$G_{\text{возд}} = \frac{g_{\text{возд}} \cdot G_{\text{с}} \cdot \rho_{\text{возд}}}{1000} \text{ кг/ч} \quad (3б)$$

где $g_{\text{возд}}$ – удельный расход воздуха, м³/т сырья;

$\rho_{\text{возд}}$ – плотность воздуха, кг/м³ плотность воздуха 1,293 кг/м³,

$G_{\text{с}}$ - производительность установки, кг/ч.

$$G_{\text{возд}} = \frac{95 \cdot 4734,8 \cdot 1,293}{1000} = 581,6 \text{ кг/ч};$$

$$G_{\text{N}_2} = G_{\text{возд}} \cdot 0,77, \text{ кг/ч} \quad (4)$$

Где $G_{\text{возд}}$ – общий расход воздуха, кг/ч,

$$G_{\text{N}_2} = 581,6 \cdot 0,77 = 447,8 \text{ кг/ч}$$

Количество кислорода G_{O_2} , кг/ч,

$$G_{\text{O}_2} = G_{\text{возд}} \cdot 0,23, \text{ кг/ч} \quad (5)$$

Где $G_{\text{возд}}$ – общий расход воздуха, кг/ч,

$$G_{\text{O}_2} = 581,6 \cdot 0,23 = 133,8 \text{ кг/ч}$$

Количество остаточного кислорода в газах окисления G'_{O_2} , кг/ч,

$$G'_{\text{O}_2} = G_{\text{возд}} \cdot 0,05, \text{ кг/ч} \quad (6)$$

$$G'_{\text{O}_2} = 581,6 \cdot 0,05 = 29,1 \text{ кг/ч}$$

Количество израсходованного кислорода G''_{O_2} , кг/ч, рассчитывается по уравнению

$$G''_{\text{O}_2} = G_{\text{O}_2} - G'_{\text{O}_2}, \text{ кг/ч} \quad (7)$$

$$G''_{\text{O}_2} = 133,8 - 29,1 = 104,7 \text{ кг/ч}$$

$$G_{\text{CO}_2} = 0,3 \cdot G''_{\text{O}_2} \cdot \frac{M_{\text{CO}_2}}{M_{\text{O}_2}}, \text{ кг/ч} \quad (8)$$

Где M_{CO_2} и M_{O_2} - молекулярные массы диоксида углерода и кислорода соответственно, г/моль,

G''_{O_2} – количество израсходованного кислорода, кг/ч.

$$G_{CO_2} = 0,3 \cdot 104,7 \cdot \frac{44}{32} = 43,2 \text{ кг/ч}$$

Количество образующейся воды, кг/ч:

$$G_{H_2O} = 0,65 \cdot G''_{O_2} \cdot \frac{M_{H_2O}}{M_O}, \text{ кг/ч} \quad (9)$$

Где M_{H_2O} и M_O - молекулярные массы воды и молекулярная масса кислорода в молекуле воды соответственно, г/моль, G''_{O_2} – количество израсходованного кислорода, кг/ч.

$$G_{H_2O} = 0,65 \cdot 104,7 \cdot \frac{18}{16} = 76,6 \text{ кг/ч}$$

Количество гудрона, пошедшее на образование CO_2 и H_2O , кг/ч, рассчитывается по уравнению

$$G_G = (G_{CO_2} - 0,3 \cdot G''_{O_2}) + (G_{H_2O} - 0,65 \cdot G''_{O_2}), \text{ кг/ч} \quad (10)$$

$$G_G = (43,2 - 0,3 \cdot 104,7) + (76,6 - 0,65 \cdot 104,7) = 20,28 \text{ кг/ч}$$

что составляет

$$\frac{20,28}{4734,8} \cdot 100 = 0,4 \% \text{ масс от сырья.}$$

Количество углеводородных газов, образующихся в процессе, принимается равным 1,5 % масс от сырья.

$$G_{у.г.} = G_C \cdot \frac{1,5}{100}, \quad (11)$$

Где G_C - производительность установки, кг/ч.

$$G_{у.г.} = 4734,8 \cdot \frac{1,5}{100} = 71,0 \text{ кг/ч}$$

Производим расчет жидких продуктов в составе отгона с учетом соблюдения материального баланса.

Составляем материальный баланс по произведенным расчетам.

Таблица 4 –Материальный баланс колонны окисления

Приход	% мас.	кг/ч	Расход	% мас.	кг/ч
Гудрон	89,1	4734,8	Битум дорожный	86,6	4603,7
Воздух	10,9	581,6	Азот	8,4	447,8
			Кислород	0,5	29,1
			Углекислый газ	0,8	43,2
			Водяные пары	1,4	76,6
			Углеводородные газы	1,3	71,0
			Отгон(черный соляр)	0,8	45,1
Итого	100	5316,5		100	5316,5

2.3 Тепловой расчет основного аппарата.

Суть теплового расчета заключается в определении температуры битума на входе в окислительную колонну или, задаваясь температурой сырья на входе в окислительную колонну, в определении количества циркулирующего орошения.

Для определения температуры сырья на входе производим расчеты

Приход тепла

Тепло с сырьем определяем по формуле:

$$Q_c = G_c \cdot t_r \cdot c_r, \text{ кДж/ч}, \quad (12)$$

где c_r – теплоемкость гудрона, кДж/(кг · К);

t_r – температура сырья на входе в колонну, °С,

G_c - производительность установки, кг/ч.

$$Q_c = 4734,8 \cdot t_r \cdot 2,1 = 9943,1 \cdot t, \text{ кДж/ч.}$$

Тепло, выделяющееся при окислении гудрона.

$$Q_p = G_c \cdot I_p, \text{ кДж/ч.} \quad (13)$$

где I_p – тепловой эффект реакции окисления битума, кДж/кг.

$I=235$ кДж/кг.

G_c - производительность установки, кг/ч.

Зная температуру размягчения битума (47 °С) и температуру окисления гудрона (250°С) определяем по данным графика рис.5, энтальпию окисления гудрона.

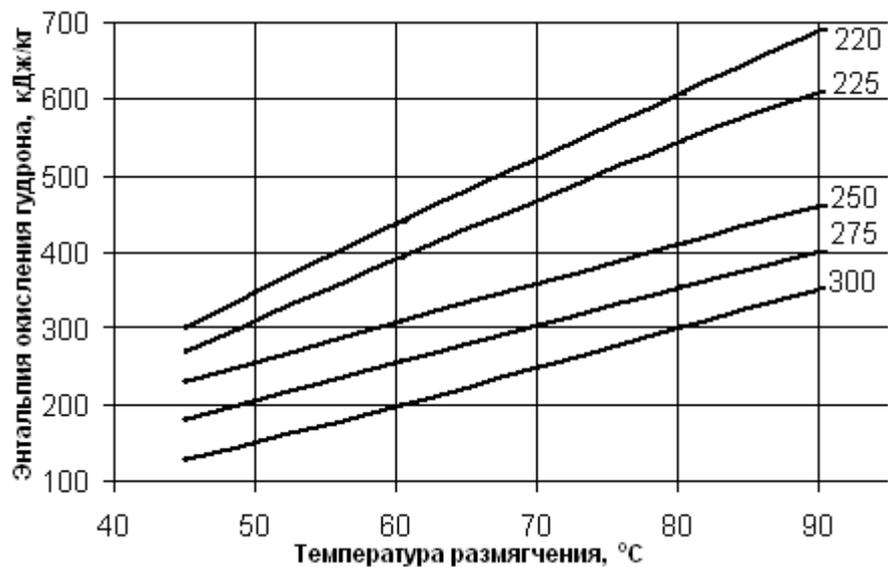


Рисунок 5—Зависимость теплового эффекта окисления гудрона от достигаемой температуры размягчения битума при различной температуре окисления гудрона: 220, 225, 250, 275, 300°С.

$$Q_p = 4734,8 \cdot 235 = 1112678,0 \text{ кДж/ч};$$

Вычисляем тепло с воздухом на окисление

$$Q_{\text{возд}} = G_{\text{возд}} \cdot t_{\text{возд}} \cdot C_{p\text{возд}}, \quad (14)$$

где $G_{\text{возд}}$ — общий расход воздуха, кг/ч,

$t_{\text{возд}}$ — температура сжатого воздуха, принимаем $t_{\text{возд}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$;

$C_{p\text{возд}}$ — теплоемкость воздуха, $C_{p\text{возд}} = 1,009 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

$$Q_{\text{возд}} = 581,6 \cdot 60 \cdot 1,009 = 35210,1 \text{ кДж/ч}.$$

Всего приход тепла:

$$Q_{\text{приход}} = Q_c + Q_p + Q_{\text{возд}}, \text{ кДж/ч}. \quad (15)$$

где Q_c - тепло вносимое с сырьем кДж/ч,

Q_p - тепло, выделяющееся при окислении гудрона кДж/ч,

$Q_{\text{возд}}$ - тепло с воздухом на окисление кДж/ч.

$$Q_{\text{приход}} = 9943,1 \cdot t_{\Gamma} + 1112678,0 + 35210,1; \text{ кДж/ч}.$$

$$Q_{\text{приход}} = 9943,1 \cdot t_{\Gamma} + 1147888,1 \text{ кДж/ч}.$$

Расход тепла:

Вычисляем расход тепла с битумом

$$Q_{\text{РАСХ}} = Q_{\text{Б}} + Q_{\text{Г.О.}} + Q_{\text{ПОТ}}, \quad (16)$$

$$Q_{\text{Б}} = G_{\text{Б}} \cdot t \cdot c_{\text{Б}}, \text{ кДж/ч}, \quad (17)$$

где $G_{\text{Б}}$ - выход готового продукта кг/ч,

$c_{\text{Б}}$ – теплоемкость битума, кДж/(кг · К); [10]

t – температура процесса окисления, °С.

$$Q_{\text{Б}} = 4603,7 \cdot 2,0 \cdot 250 = 2301850,0 \text{ кДж/ч.}$$

Вычисляем расход тепла с газами окисления и с отгоном:

$$Q_{\text{Г.О.}} = \Sigma G_i \cdot c_i \cdot t, \quad (19)$$

где G_i – количество отдельных составляющих газов окисления, кг/ч;

c_i – теплоемкость отдельных составляющих газов окисления, кДж/(кг · К);

t – температура процесса окисления, °С;

$$Q_{\text{Г.О.}} = (447,8 + 29,1 + 43,2 + 76,6 + 71,0 + 45,1) \cdot 1,3938 \cdot 250 = 248375,2 \text{ кДж/ч.}$$

Потери тепла в окружающую среду принимаем 6 % от тепла, приходящего в колонну, то есть:

$$Q_{\text{Ок.ср.}} = 0,05 \cdot (9943,1 \cdot t_{\text{Г}} + 1147888,1) = 497,2 \cdot t_{\text{Г}} + 57394,4 \text{ кДж/кг.}$$

Всего расход тепла составляет:

$$Q_{\text{рас.}} = Q_{\text{Б}} + Q_{\text{Г.О.}} + Q_{\text{пот}}, \text{ кДж/кг.} \quad (20)$$

где $Q_{\text{Б}}$ - расход тепла с битумом, кДж/ч;

$Q_{\text{Г.О.}}$ - расход тепла с газами окисления и с отгоном, кДж/ч;

$Q_{\text{пот}}$ - потери тепла в окружающую среду кДж/кг.

$$Q_{\text{расх.}} = 2301850,0 + 248375,2 + 57394,4 + (497,2 \cdot t_{\text{Г}}), \text{ кДж/кг}$$

$$Q_{\text{расх.}} = 2607619,6 + 497,2 \cdot t_{\text{Г}}; \text{ кДж/кг.}$$

Определим температуру сырья на входе в колонну ($t_{\text{Г}}$)

$$1147888,1 + 9943,08 \cdot t_{\text{Г}} = 2607619,6 + 497,2 \cdot t_{\text{Б}};$$

где $t_{\text{Б}}$ температура сырья на выходе, °С.

Зная температуру сырья на выходе: 250 °С, определяем температуру на входе - $t_{\text{Г}}$.

$$1147888,1 + 9943,08 \cdot t_{\text{Г}} = 2607619,6 + 497,2 \cdot 250$$

$$1147888,1 + 9943,08 \cdot t_r = 2731907$$

$$t_r = \frac{2731907 - 1147888,1}{9943,08} = 159,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Зная температуру сырья на входе в колонну, определяем истинные значения прихода и расхода тепла.

Общий расход тепла:

$$Q_{\text{расх.}} = 2607619,6 + 497,2 \cdot 159,3 = 2731907,06 \text{ кДж/кг.}$$

Общий приход тепла:

$$Q_{\text{прих.}} = 1147888,1 + 9943,08 \cdot 250 = 2731907,06 \text{ кДж/кг.}$$

$$Q_{\text{прих.}} = Q_{\text{рас.}};$$

$$2731907,06 \text{ кДж/кг} = 2731907,06 \text{ кДж/кг}$$

2.4 Гидравлический расчет

2.4.1 Технологический расчет основного аппарата.

Определяем реакционный объем колонны V_p , м^3 :

$$V_p = \frac{G_c}{\rho_c \cdot \omega}, \text{ м}^3 \quad (21)$$

где ρ_c - плотность сырья, кг/м^3 ;

ω – объемная скорость подачи сырья ч^{-1} [11]

$$V_p = \frac{4743,8}{980 \cdot 0,3} = 16,10 \text{ м}^3$$

Предварительно принимается диаметр колонны $D = 2$ м. Тогда площадь сечения колонны S , м^2 , составит

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (22)$$

$$S = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} = 3,14 \text{ м}^2$$

Полезная высота слоя окисления h_1 , м:

$$h_1 = \frac{V_p}{S}, \text{ м} \quad (23)$$

где V_p - Реакционный объем колонны, м^3 ;

S - площадь сечения колонны, м^2 ;

$$h_1 = \frac{16,10}{3,14} = 5,1 \text{ м}$$

Высота газового пространства h_2 ,

$$h_2 = \frac{D}{2}, \text{ м} \quad (24)$$

$$h_2 = \frac{2}{2} = 1 \text{ м}$$

Общая высота колонны (м):

$$H = h_1 + h_2. \quad (25)$$

где h_1 - Полезная высота слоя окисления, м;

h_2 - высота газового пространства, м;

$$H = 5,1 + 1 = 6,1 \text{ м}$$

Скорость подачи воздуха в условиях процесса $V_{\text{возд}}$, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$V_{\text{возд}} = \frac{G_{\text{возд}}}{\rho_{\text{возд}}} \cdot \frac{t + 273}{273} \cdot \frac{0,1}{P} \cdot \frac{1}{3600}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (26)$$

где t – температура процесса, $^{\circ}\text{C}$;

P - давление процесса, Мпа,

$G_{\text{возд}}$ – общий расход воздуха, кг/ч,

$\rho_{\text{возд}}$ – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$ плотность воздуха $1,293 \text{ кг}/\text{м}^3$;

$$V_{\text{возд}} = \frac{581,6}{1,293} \cdot \frac{250 + 273}{273} \cdot \frac{0,1}{0,5} \cdot \frac{1}{3600} = 0,05 \text{ м}^3/\text{с}$$

Линейная скорость воздуха $U_{\text{возд}}$, $\text{м}/\text{с}$, в колонне составит

$$U_{\text{возд}} = \frac{V_{\text{возд}}}{S}, \quad (27)$$

где $V_{\text{возд}}$ – скорость подачи воздуха в условиях процесса, $\text{м}^3/\text{с}$;

S - площадь сечения колонны, м^2 ;

$$U_{\text{возд}} = \frac{0,05}{3,14} = 0,02 \text{ м}/\text{с}.$$

Расчетная скорость воздуха в колонне не превышает допустимых значений (не более $0,1 - 0,12 \text{ м}/\text{с}$), поэтому размеры колонны $D = 2 \text{ м}$ и $H = 6,1 \text{ м}$ можно считать правильными.

Диаметр трубы маточника при скорости газа в ней $w_r = 25 \text{ м}/\text{с}$ [12]

$$d_M = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{в}}}{\pi \cdot w_{\Gamma}}}, \text{ м} \quad (28)$$

где $V_{\text{в}}$ - скорость подачи воздуха в условиях процесса, $\text{м}^3/\text{с}$.

$$d_M = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,05}{3,14 \cdot 25}} = 0,05 \text{ м}$$

Для барботера выбираем трубу диаметром 30 x 1,5 мм. - метрическая резьба с наружным диаметром 30 мм, мелким шагом 1,5 мм; [12]

Средний диаметр барботера

$$D_{\text{ср}} = 6 \cdot d, \text{ мм} \quad (29)$$

где d_M - диаметр трубы маточника, м;

$$D_{\text{ср}} = 6 \cdot 30 = 180 \text{ мм.}$$

Скорость газа в отверстиях маточника

$$V_M = 3,4 \cdot \sqrt{\frac{d_M}{p_{\text{в}}}}, \text{ м/с} \quad (29)$$

где $p_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг/м^3

$$V_M = 3,4 \cdot \sqrt{\frac{0,027 \cdot 1000}{1,293}} = 15,54 \text{ м/с}$$

Примем диаметр отверстий в маточнике $d_{\text{о.м.}} = 5$ мм, тогда их количество будет:

$$Z = \frac{4 \cdot V_{\text{в}}}{\pi \cdot d_{\text{о.м.}}^2 \cdot V_M}, \quad (30)$$

где $V_{\text{в}}$ - скорость подачи воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$,

$d_{\text{о.м.}}$ – диаметр отверстий в маточнике, мм;

V_M - скорость газа в отверстиях маточника, м/с.

$$Z = \frac{4 \cdot 0,05}{3,14 \cdot 0,005^2 \cdot 15,54} = 164$$

Шаг расположения отверстий

$$E = \frac{\pi \cdot D_{cp}}{Z} \quad (31)$$

где D_{cp} –средний диаметр барботера, мм;

Z –количество отверстий в маточнике.

$$E = \frac{3,14 \cdot 180}{164} = 3,45 \text{ мм}$$

2.4.2. Расчет диаметров штуцеров

Диаметр трубопровода находят по уравнению: [13]

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \text{ м} \quad (32)$$

где V – массовый расход, $\text{м}^3/\text{с}$;

w – скорость рабочего тела, $\text{м}/\text{с}$

Выход газов окисления

$$d_{г.о.} = \sqrt{\frac{712,8 / 3600}{0,785 \cdot 20}} = 0,11 \text{ м}$$

примем $d_{г.о} = 120 \text{ мм}$

Выход битума

$$d_{б} = \sqrt{\frac{4603,7 / 3600}{0,785 \cdot 5}} = 0,571 \text{ м}$$

примем $d_{б} = 600 \text{ мм}$

Вход сырья

$$d_{с} = \sqrt{\frac{4734,8 / 3600}{0,785 \cdot 5}} = 0,579 \text{ м}$$

примем $d_{с} = 600 \text{ мм}$

Вход воздуха в маточник

$$d_e = \sqrt{\frac{581,6/3600}{0,785 \cdot 25}} = 0,091 \text{ м}$$

примем $d_b = 100 \text{ мм}$

2.4.3. Расчет на прочность

Расчет цилиндрической обечайки

В качестве конструкционного материала выбираем двухслойную сталь, т.к. двухслойные стали находят все большее применение и позволяют экономить дорогостоящие высоколегированные стали. Они представляют собой листы, состоящие из двух гомогенно соединенных слоёв: основного из недефицитной стали и плакирующего (защитного) из высоколегированной стали. [14]

По ГОСТу 10885-64 для основного слоя – сталь ВМСтЗсп, плакирующего – сталь 08Х13.

Расчет ведем по основному слою:

Расчетная температура стенки $t = t_c = 250 \text{ °С}$, так как температура среды положительна, то

Допускаемое напряжение:

в рабочем состоянии

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^* \text{ МПа} \quad (33)$$

где σ^* – нормативное допускаемое напряжение, $\sigma^* = 157 \text{ МПа}$

η – поправочный коэффициент, учитывающий вид заготовки (так как используется листовая прокат, то $\eta = 1$)

$$[\sigma] = 1 \cdot 157 = 157 \text{ МПа}$$

для гидравлических испытаний

$$[\sigma]_u = \frac{\sigma_{T20}}{1,1}, \text{ МПа} \quad (34)$$

где σ_{T20} – допускаемое напряжение для материала сосудов или его элементов при температуре $t = 20 \text{ °С}$ $\sigma_{T20} = 240 \text{ МПа}$,

тогда,

$$[\sigma]_u = \frac{240}{1,1} = 218,18 \text{ МПа}$$

Расчетное значение внутреннего давления $P_p = 0,3 \text{ МПа}$

Пробное давление при гидравлических испытаниях

$$p_u = \max \left\{ \begin{array}{c} 1,5P[\sigma]_{20}/[\sigma] \\ 0,2 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{c} 1,5 \cdot 0,3 \cdot 160/157 \\ 0,2 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{c} 0,1 \\ 0,2 \end{array} \right\} = 0,2 \text{ МПа}$$

где $[\sigma]_{20}$ – допускаемое напряжение при $t = 20^\circ\text{C}$ [3, стр. 113]

$$[\sigma]_{20} = \eta \sigma^*_{20} = 1 \cdot 160 = 160 \text{ МПа}$$

Коэффициент прочности продольных сварных швов обечайки $\phi = 1$, [13]

Так, как принято, что швы с двусторонним сплошным проваром выполняются автоматической сваркой.

Суммарная прибавка к номинальным расчетным толщинам:

$$c = c_k + c_o + c_d \quad (35)$$

где c_k – прибавка на коррозию или другой вид химического воздействия рабочей среды на материал, мм;

c_o – прибавка на эрозию или другой вид механического воздействия рабочей среды на материал, мм;

c_d – дополнительная прибавка по технологическим, монтажным и другим соображениям, мм

Прибавку на коррозию определяют амортизационным сроком службы аппарата и проницаемостью материала по формуле

$$c_k = \Pi \cdot \tau_a = 0,1 \cdot 20 = 2,0 \text{ мм} \quad (36)$$

где τ_a – амортизационный срок ($\tau_a = 20$ лет).

Остальными видами прибавки можно пренебречь, тогда $c = 2 \text{ мм}$

Расчетная и исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки [13]

$$s_p = \max \left\{ \frac{P_p D}{(2\phi[\sigma] - P_p)}, \frac{P_u D}{(2\phi[\sigma] - P_u)} \right\} =$$

$$= \max \left\{ \frac{0,3 \cdot 2}{(2 \cdot 1 \cdot 157 - 0,3)}, \frac{0,2 \cdot 2}{(2 \cdot 1 \cdot 218,18 - 0,2)} \right\} = \max \left\{ 0,7 \cdot 10^{-3}, 1,4 \cdot 10^{-3} \right\} = 1,4 \text{ мм}$$

тогда

$$s = s_p + c + c_0 = 1,4 + 2 + 0,6 = 4 \text{ мм}$$

где c_0 – прибавка на округление размера, мм

2.4.4. Расчет на прочность

Расчет днища и крышки

Расчетная и исполнительная толщина конического днища и крышки

$$s_p = \max \left\{ \frac{P_p D}{(2\phi[\sigma] - P_p) \cos \alpha}, \frac{P_u D}{(2\phi[\sigma]_u - P_u) \cos \alpha} \right\} =$$

$$= \max \left\{ \frac{0,3 \cdot 2}{(2 \cdot 1 \cdot 157 - 0,3) \cdot \cos 45}, \frac{0,2 \cdot 2}{(2 \cdot 1 \cdot 218,18 - 0,2) \cdot \cos 45} \right\} = \max \left\{ 0,9 \cdot 10^{-3}, 1,9 \cdot 10^{-3} \right\} = 1,9 \text{ мм}$$

тогда

$$s_k = s_p + c + c_0 = 1,9 + 2 + 0,1 = 4 \text{ мм}$$

2.4.5. Расчет опор

Для определения опоры необходимо определить вес аппарата:

$$G = m_{\text{КВ}} \cdot g \quad (37)$$

где g -ускорение свободного падения равное $9,8 \text{ м}^2/\text{с}$.

$m_{\text{КВ}}$ - масса корпуса, наполненного водой.

$$m_{\text{КВ}} = m_{\text{К}} + m_{\text{В}} \quad (38)$$

где $m_{\text{К}}$ - масса корпуса аппарата, кг, [4, стр. 75]

$m_{\text{В}}$ - масса воды залитой в аппарат, кг.

$$m_{\text{К}} = \rho \left[4 \cdot V \cdot \left(\frac{K_s + c}{D} \right) + 1,43 \cdot D^2 \cdot (K_s \cdot D + c) \right], \text{ кг} \quad (39)$$

где V - объем, м^3

$$V = H_{\text{К}} \cdot S \text{ м}^3 \quad (40)$$

где $H_{\text{К}}$ - высота колонны с запасом и с учетом крышки и днища: $H_{\text{К}}=6,2 \text{ м}$.

S - площадь поперечного сечения аппарата, м^2

$$S = 0,785 \cdot d^2, \text{ м}^2 \quad (41)$$

$$S = 0,785 \cdot 2^2 = 3,14 \text{ м}^2$$

Тогда объем колонны будет равен:

$$V = 3,14 \cdot 6,2 = 19,47 \text{ м}^3.$$

Плотность стали приближенно равна: $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$.

Комплекс K_S :

$$K_S = \frac{P_p}{(2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - P_p)} \quad (42)$$

$$K_S = \frac{0,3}{(2 \cdot 0,95 \cdot (152 - 0,1))} = 3,66 \cdot 10^{-4}$$

где: $[\sigma]$ -нормативное допускаемое напряжение;

ϕ -коэффициент прочности сварных швов равный 0,95;

Подставим полученные величины в уравнение:

$$m_k = 7850 \cdot \left[4 \cdot 19,47 \cdot \left(\frac{3,66 \cdot 10^{-4} + 1,4 \cdot 10^{-3}}{2} \right) + 1,43 \cdot 2^2 \cdot (3,66 \cdot 10^{-4} \cdot 2 + 1,4 \cdot 10^{-3}) \right]^{-4}$$

$$m_k = 1795,4 \text{ кг}$$

Масса воды залитой в колонну:

$$m_B = \rho_B \cdot V \quad (43)$$

где ρ_B –плотность воды, кг/м^3

V –реакционный объем колонны, м^3 :

$$m_B = 1000 \cdot 19,47 = 19470 \text{ кг}$$

Тогда масса колонны, заполненной водой, будет равна:

$$m_{KB} = 19470 + 1795,4 = 21265,4 \text{ кг.}$$

Вес аппарата:

$$G = 21265,4 \cdot 9,8 = 208400,92 \text{ Н.}$$

По рекомендации [15], принимаем стандартную цилиндрическую опору 3-го типа (с кольцевым опорным поясом ОСТ 26- 467- 78).

2.4.6. Выбор фланцев

Выбираем для труб и трубопроводной арматуры фланцы стальные плоские приварные с соединительным выступом по ГОСТ 1255-67, которые используются при $P_y=0,3$ МПа и агрессивной среде. [13]

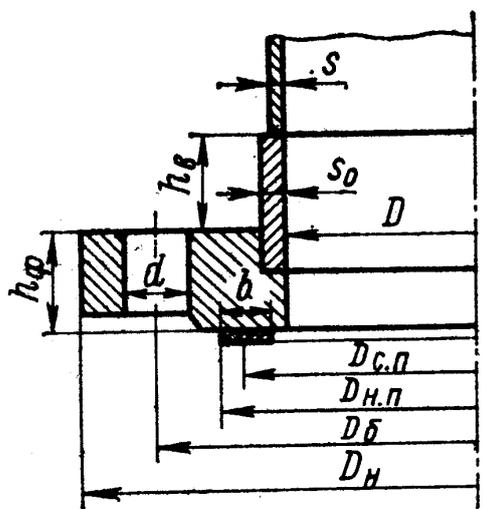


Рисунок 6-Плоский приварной фланец.

2.4.7. Расчет тепловой изоляции

Толщину тепловой изоляции $\delta_{и}$ находят из равенства удельных тепловых потоков через слой изоляции от поверхности изоляции в окружающую среду [16]:

$$\alpha_{в} = (t_{ст2} - t_{в}) = \left(\frac{\lambda_{и}}{\delta_{и}}\right) \cdot (t_{ст1} - t_{ст2}) \quad (44)$$

где $\alpha_{в}=9,3+0,058 \cdot t_{ст2}$ - коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности изоляционного материала в окружающую среду, Вт/(м²·К);

$t_{ст2}$ - температура изоляции со стороны окружающей среды (воздуха), °С;
принимаем $t_{ст2}=25^{\circ}\text{C}$;

$t_{ст1}$ - температура изоляции со стороны аппарата, °С;

ввиду незначительного термического сопротивления стенки аппарата по сравнению с термическим сопротивлением слоя изоляции $t_{ст1}$ принимаем равной температуре среды в колонне $t_{ст1}=250^{\circ}\text{C}$,

t_b - температура окружающей среды (воздуха), $t_b=20^\circ\text{C}$;

В качестве материала для тепловой изоляции выберем совелит (85% маг незии+15% асбест),

$\lambda_{и}$ - коэффициент теплопроводности изоляционного материала,
 $\lambda_{и} = 0,058 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. [17]

Рассчитаем толщину тепловой изоляции: при $t_{ст2}=25^\circ\text{C}$

$$\alpha_B = 9,3 + 0,058 \cdot 25 = 10,75 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Тогда при $t_{ст1}=250^\circ\text{C}$, $t(\text{возд})=20^\circ\text{C}$:

$$\delta_{и} = \lambda_{и} \cdot \frac{(t_{ст2} - t_b)}{\alpha_B \cdot (t_{ст2} - t_b)} \quad (45)$$

$$\delta_{и} = 0,058 \cdot \frac{(200 - 25)}{10,75 \cdot (25 - 20)} = 0,188 \text{ м}$$

Принимаем толщину тепловой изоляции 200 мм

2.5 Подбор вспомогательного оборудования

Подбираем насос

Расчет насосов заключается в определении мощности на валу двигателя с учетом типа насоса и основных его характеристик. Расчет ведут по формуле:

$$N = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot H}{1000 \cdot \eta} \quad (46)$$

где N – мощность на валу двигателя, кВт;

Q – производительность (подача) насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

ρ – плотность перекачиваемой жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$;

g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$;

H – напор, м;

η – КПД насоса, равное 0,7 для центробежных насосов.

Напор, развиваемый насосом, находим по формуле

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + H_r + h_n \quad (47)$$

где H – полный напор, развиваемый насосом, м;

p_2 и p_1 – давления в пространстве всасывания и нагнетания, Па;

ρ – плотность перекачиваемой жидкости, при 300 °С кг/м³;

H_r – геометрическая высота подъема жидкости, м;

h_n – напор, затрачиваемый на создание скорости и на преодоление трения, м;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Принимаем $H_r = 1$ м, $h_n = 5$ м.

Из-за небольшой разницы p_2 и p_1 - $(p_2-p_1) / \rho g$ можно не учитывать.

С запасом на возможные перегрузки двигатель к насосу устанавливаем большей мощности:

$$N_{уст} = \beta \cdot N, \quad (48)$$

где $\beta = 1,15$ при $N = 5-50$ кВт.

Насос предназначен для подачи гудрона в колонну окисления.

Расход гудрона

$$Q = \frac{G_c}{\rho \cdot 3600}, \quad (49)$$

где G_c - производительность установки, кг/ч. ρ – плотность гудрона, кг/м³.

$$Q = \frac{4734,8}{985 \cdot 3600} = 1,34 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с},$$

Напор насоса

$$H = 1 + 5 = 6 \text{ м}.$$

$$N = \frac{1,34 \cdot 10^{-3} \cdot 985 \cdot 9,81 \cdot 6}{1000 \cdot 0,7} = 0,41 \text{ кВт}$$

$$N_{уст} = 1,15 \cdot 0,41 = 0,47 \text{ кВт}.$$

Подбор насосов осуществляем по каталогу [18]. Результаты подбора приведены в таблице 2

Таблица 4 –Основные характеристики центробежного насоса

Обозначение.	Количество	Марка насоса	Q, м ³ /с	H, м	Электродвигатель		
					тип	N, кВт	n, с ⁻¹
H1	1	X10/5 3	2 · 10 ⁻³	10	АО2-52-2	1	48, 3

Расчет теплообменника

Тепловая нагрузка аппарата:

$$Q = G_1 \cdot c_1 \cdot (t_{1H} - t_{1K}), \quad (50)$$

где $c_1 = 1850 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ – теплоемкость битума [19];

G_1 - массовый расход битума.

Принимаем $G_1 = 2000 \text{ кг/ч} = 0,56 \text{ кг/с}$

Q - тепловой поток, из теплового расчета.

$$Q = 35210,1 \text{ кДж/ч} = 9780,58 \text{ Вт}$$

Конечная температура битума

$$t_{1K} = \frac{G_1 \cdot c_1 \cdot t_{1H} - Q}{G_1 \cdot c_1}, \quad (51)$$

$$t_{1K} = \frac{0,56 \cdot 1850 \cdot 250 - 9780,58}{0,56 \cdot 1850} = 503 \text{ К} = 230 \text{ }^\circ\text{C}$$

Средняя разность температур:

$$\Delta t_M = t_{1H} - t_{2K} = 250 - 60 = 190 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_6 = t_{1K} - t_{2H} = 230 - 20 = 210 \text{ }^\circ\text{C}$$

Так как отношение $\frac{\Delta t_6}{\Delta t_M} = \frac{210}{190} = 1,11 < 2$, то

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6}{\Delta t_M} / 2, \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{210}{190} / 2 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$$

Средняя температура воздуха:

$$t_{2cp} = \frac{t_{2K} + t_{2H}}{2} \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{2cp} = \frac{60 + 20}{2} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

Средняя температура битума:

$$t_{1cp} = \frac{t_{1H} + \Delta t_{cp}}{2};$$

$$t_{1cp} = \frac{250 + 200}{2} = 225^{\circ}C$$

Расход воздуха

$$G_2 = \frac{Q}{c_2 \cdot (t_{2k} - t_{2н})}, \quad (52)$$

где $c_2 = 29$ кДж/кг·К – теплоемкость воздуха [20].

$$G_2 = \frac{9780,58}{29 \cdot (60 - 20)} = 8,43 \text{ кг/ч}$$

Ориентировочный выбор теплообменника.

Принимаем ориентировочное значение коэффициента теплопередачи для случая теплопередачи воздух-жидкость $K_{op} = 25$ Вт/м²·К [20], тогда ориентировочная поверхность теплообмена:

$$F_{op} = \frac{Q}{K_{op} \cdot \Delta t_{cp}}, \quad (53)$$

где Q - тепловой поток, из теплового расчета, Вт

K_{op} - коэффициент теплопередачи, Вт/м²·К

$$F_{op} = \frac{9780,58}{25 \cdot 200} = 1,95 \text{ м}^2$$

$$F_{op} = 9780,58 / 25 \cdot 200 = 1,95 \text{ м}^2.$$

Принимаем теплообменник с близкой поверхностью теплообмена:

$F = 2 \text{ м}^2$, одноходовой с диаметром кожуха $D = 159$ мм и $n = 19$ трубками 20×2 длиной $l = 1$ м [21].

Коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_{вн}}, \quad (54)$$

где $\lambda_2 = 0,027$ Вт/м·К – теплопроводность воздуха при $40^{\circ}C$

Nu_2 – критерий Нуссельта для воздуха.

Критерий Рейнольдса:

$$Re_2 = G_2 / [0,785 \cdot d_{вн} \cdot \mu_2] = 0,43 / [0,785 \cdot 0,018 \cdot 1,87 \cdot 10^{-3}] = 16790.$$

$\mu_2 = 1,87 \cdot 10^{-3}$ - динамическая вязкость воздуха при $40^{\circ}C$

Режим движения турбулентный в этом случае критерий Нуссельта:

$$Nu_2 = 0,021 Re_2^{0,8} Pr_2^{0,42} (Pr_2/Pr_{cr2})^{0,25}$$

где $Pr_2 = 7,02$ – критерий Прандтля для воздуха $40\text{ }^\circ\text{C}$

Принимаем в первом приближении отношение $(Pr_2/Pr_{cr2})^{0,25} = 1$, тогда

$$Nu_2 = 0,021 \cdot 16790^{0,8} \cdot 7,02^{0,43} = 94,3.$$

$$\alpha_2 = \frac{94,3 \cdot 0,027}{0,018} = 141,45 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Коэффициент теплоотдачи от битума к стенке:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_n} \quad (55)$$

где $\lambda_1 = 0,2 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ – теплопроводность битума,

Nu_1 – критерий Нуссельта для битума.

Критерий Рейнольдса:

$$Re_1 = \frac{G_1 \cdot d_n}{S_{мтр} \cdot \mu_1}, \quad (56)$$

где $S_{мтр} = 0,005 \text{ м}^2$ – площадь сечения потока между перегородками,

$\mu_1 = 1,59 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – динамическая вязкость битума при $240\text{ }^\circ\text{C}$ [20].

$$Re_1 = \frac{0,56 \cdot 0,02}{0,005 \cdot 1,59 \cdot 10^{-3}} = 2521$$

В этом случае критерий Нуссельта:

$$Nu_1 = 0,24 Re_1^{0,6} Pr_1^{0,36} (Pr_1/Pr_{cr1}),$$

где $Pr_1 = 8,8$ – критерий Прандтля для битума,.

Принимаем в первом приближении отношение $(Pr_1/Pr_{cr1})^{0,25} = 1$, тогда

$$Nu_1 = 0,24 \cdot 2521^{0,6} \cdot 8,8^{0,36} = 55,2.$$

$$\alpha_1 = \frac{55,2 \cdot 0,2}{0,02} = 552 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Тепловое сопротивление стенки:

$$\sum \left(\frac{\delta}{\lambda} \right) = \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + r_1 + r_2 \quad (57)$$

где $\delta_{cr} = 0,002 \text{ м}$ – толщина стенки трубки;

$\lambda_{ст} = 17,5 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ – теплопроводность нержавеющей стали;

$1/r_1=1/r_2=2900 \text{ Вт /м}\cdot\text{К}$ – тепловое сопротивление загрязнений стенок

для нефтепродуктов [1, стр. 354]

$$\sum\left(\frac{\delta}{\lambda}\right) = \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{2900} + \frac{1}{2900} = 4,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}\cdot\text{К/Вт}$$

Коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \sum\left(\frac{\delta}{\lambda}\right) + \frac{1}{\alpha_2}\right)} \quad (58)$$

$$K = \frac{1}{\left(\frac{1}{552} + 4,6 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{141,45}\right)} = 106,6 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$$

Поверхность теплообмена:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} \quad (59)$$

$$F = \frac{9780,58}{106,6 \cdot 200} = 1,45 \text{ м}^2$$

Принимаем теплообменник с близкой поверхностью теплообмена:

$F = 2 \text{ м}^2$, одноходовой с диаметром кожуха $D = 159 \text{ мм}$ и $n = 19$ трубками 20×2 длиной $l = 1 \text{ м}$ [21].

Подбор емкости для хранения битума

Подбор емкости осуществляется по рабочему объему.

Емкость предназначена для приема битума объемным расходом

$$G = \frac{M}{\rho_1}, \quad (60)$$

где $\rho_1 = 1170 \text{ кг/м}^3$ – плотность битума при $200 \text{ }^\circ\text{C}$

$$G = \frac{4603,7}{1170} = 3,88 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Время пребывания в емкости 24ч, тогда необходимый объем емкости

$$V = G \cdot 24, \quad (61)$$

$$V = 3,88 \cdot 24 = 93 \text{ м}^3$$

Принимаем к установке емкость объемом 100 м³

Потери тепла в емкости:

$$Q_n = \frac{\lambda_c \cdot (t_b - t_{ок.ср})}{s}, \quad (62)$$

где λ_c - теплопроводность изоляции (совелит), Вт/м*К [21].

t_b , $t_{ок.ср}$ - требуемая температура битума в емкости и температура окружающей среды (минимальная температура, октябрь) ,

s - толщина изоляции, мм.

$$Q_n = \frac{0,098 \cdot (200 - (-10))}{0,02} = 1029$$

Список использованных источников

1. Грудников И.Б. Производство нефтяных битумов. – М.: Химия, 1983. – 234с.
2. Гуреев А.А., Чернышова Е.А., Коновалов А.А., Кожевникова Ю.В. Производство нефтяных битумов. –М. Изд. Нефть и газ,2007 –102с.
3. Сергиенко, С.Р. Высокмолекулярные соединения нефти / С.Р. Сергиенко. – М.: Химия, 1964. – 535 с.
4. Пажитова, Н.П. Исследование свойств битумов, применяемых в дорожном строительстве / Н.П. Пажитова, Т.В. Потапова. – М.: Труды СоюзДорНИИ, 1970.
5. Гун Р.Б. Нефтяные битумы. - М.: Химия, 1989. - 432с.
6. Розенталь, Д.А.. Битумы. Получение и способы модификации / Д.А. Розенталь. – Л.: ЛТИ, 1979. – 80 с.
7. Рудин, М.Г. Карманный справочник нефтепереработчика / М.Г.Рудин, В.Е. Сомов. – ОАО «ЦНИИТЭнефтехим». М. 2004. – С.213-214.
- 8 Альбом технологических схем процессов переработки нефти и газа/Под ред. Б.И. Бондаренко.– М.: Химия, 1983.– 128 с.
- 9 Танатаров М.А., Ахметшина М.Н., Фасхутдинов Р.А. и др. Технологические расчеты установок переработки нефти: учеб. пособие для вузов. – М.: Химия, 1987. – 352 с.
- 10 Кузнецов А.А., Кагерманов С.М. и др. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности. – Л.: Химия, 1974. – 343 с.
- 11 Дубовкин Н.Ф. Справочник по теплофизическим свойствам углеводородных топлив и их продуктов сгорания. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 288 с.
- 12 Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. 3-е изд., стереотипное. – М.: ООО ИД «Альянс», 2008. – 752 с.

13 Михалев М.Ф., Третьяков Н.П., Мильченков А.И., Зобнин В.В. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учеб. Пособие для студентов вузов/Под общ. ред. Михалева М.Ф.- Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1984. – 301 с.

14 Лацинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1981. – 382 с., ил

15 АТК 24.200.04-90 Опоры цилиндрические и конические вертикальных аппаратов.

16 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов СНиП 2.04.14-88

17 Примеры и задачи по курсу ПиАХТ Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А, 1987г.

18 Цетробежные насосы. Каталог-справочник. М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ. 1970. 63 с.

19 Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Под ред. Дытнерского Ю.И., 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1991. – 496 с.

20 ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие

21 Справочник по строительному материаловедению, 2010 Леонид Дворкин, Олег Дворкин.

22 СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.

23 ГОСТ 12.1.012–90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования.

24 . СНиП 23–05–95. Естественное и искусственное освещение.

25 ГН 2.2.5.1313–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы. Минздрав России, 1998.

- 26 ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация
- 27 СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997
- 28 СН 2.2.4/2.1.8.566. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 1997
- 29 ГОСТ 12.1.019 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 30 ГОСТ 12.0.003-09*ССБТ Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- 31 Румянцев Г.И. «Общая гигиена»; М.: 1985г.
- 32 Технологический регламент установки переработки нефти УПН-100. Анжерская нефтегазовая компания – 2010. – 23
- 33 СН 2.2.4/2.1.5626-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 1997.-15 с.
- 34 ГОСТ 53768-2010 Провода и кабели для электрических установок с номинальным напряжением до 450/750 В включительно.
- 35 СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция трубопроводов и оборудования.
- 36 ГОСТ 12.1.018-93 Правилам защиты от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности" из-за возможного образования статического электричества
- 37 . Фадеев Н.П. Методические указания по разделу «Безопасность жизнедеятельности» в дипломных проектах и работах. – Новомосковск.: РХТУ,
38 1994. 34с.
- 39 ВСН-3-86/Минхимпром, «Рекомендации по установке технологического оборудования на открытых площадках в химической

промышленности».