

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 1. ВВЕДЕНИЕ	3
1.1 Переработка нефти	3
1.1.1 Атмосферная перегонка	4
1.1.2 Вакуумная перегонка	5
1.1.3 Стабилизация и вторичная перегонка бензина	6
1.1.4 Первичная переработка нефти	8
1.1.5 Вторичная переработка нефти	10
Каталитический крекинг	10
Термический крекинг	11
Гидрокрекинг	11
Нетрадиционные способы использования нефти	11
1.2 Проблема качества дизельного топлива	14
1.3 Ректификационная технология Линас и мини-НПЗ на ее основе	16
1.4 Технология ВСМА	23
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ВИБРОАКТИВАТОРА.....	30
ДЛЯ УСТАНОВКИ ПО ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ	30
2.1 Единичный рабочий модуль виброобработки.....	30
2.2 Вычисление объема и массы активатора	35
2.3 Производительности активации (обработки) МВО	39
2.4 Расчет подвеса.....	42
2.5 Определение обмоточных данных катушек электромагнитного привода.	44
ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ	46
3.1 Электрическая схема замещения контуров установки	46
3.2 Механический контур лабораторной установки	48
3.3 Система уравнений установки	49
3.3.1 Уравнения для электрических контуров	49
3.3.2 Алгоритм расчёта системы дифференциальных уравнений	52
Таблица 4.1.4 – Данные расчетов при механическом сопротивлении $R_m=3400 \text{ кз/с}$:.....	60
ГЛАВА 5. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ	61
5.1 Схема подключение виброактиватора.....	61
5.2 Выбор преобразовательного устройства для системы	62
5.3 Выбор диода	64
5.4 Выбор автоматического выключателя.....	64
5.5 Выбор кабеля сети.....	65

ГЛАВА 1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 Переработка нефти

На выходе из скважины сырая нефть имеет очень ограниченную сферу применения. Фактически вся сырая нефть проходит перегонку, с тем, чтобы получить из нее такие продукты как бензин, авиационное топливо, мазут и промышленные виды топлива.

На заре нефтяной отрасли переработка производилась примитивным перегонным аппаратом, в котором нефть доводилась до кипения, и, затем, конденсировались различные продукты, в зависимости от температуры. Для этого требовалось не намного больше умения, чем для изготовления самогона, поэтому в нефтяную отрасль в девятнадцатом веке пришли производители виски. Сейчас нефтепереработка представляет собой крупный, сложный, высокотехнологичный и дорогостоящий производственный комплекс.

Переработка нефти на НПЗ включает следующие основные этапы:

Подготовка нефти к переработке;

Первичная переработка нефти;

Вторичная переработка нефти;

Очистка нефтепродуктов.

Подготовка нефти к переработке заключается в дополнительном обезвоживании (до 0,1% содержания воды) и обессоливании (содержание солей до 3-4 мг/л) для уменьшения коррозии технологического оборудования и повышения качества топлив и других нефтепродуктов.

1.1.1 Атмосферная перегонка

Атмосферная перегонка (рис. 3,4) предназначена для отбора светлых нефтяных фракций - бензиновой, керосиновой и дизельных, выкипающих до 360°C, потенциальный выход которых составляет 45-60% на нефть. Остаток атмосферной перегонки - мазут.

Процесс заключается в разделении нагретой в печи нефти на отдельные фракции в ректификационной колонне - цилиндрическом вертикальном аппарате, внутри которого расположены контактные устройства (тарелки), через которые пары движутся вверх, а жидкость - вниз. Ректификационные колонны различных размеров и конфигураций применяются практически на всех установках нефтеперерабатывающего производства, количество тарелок в них варьируется от 20 до 60. Предусматривается подвод тепла в нижнюю часть колонны и отвод тепла с верхней части колонны, в связи с чем температура в аппарате постепенно снижается от низа к верху. В результате сверху колонны отводится бензиновая фракция в виде паров, а пары керосиновой и дизельных фракций конденсируются в соответствующих частях колонны и выводятся, мазут остаётся жидким и откачивается с низа колонны.

Фракционный состав (интегральный) нефти
от температуры и времени ВСМА

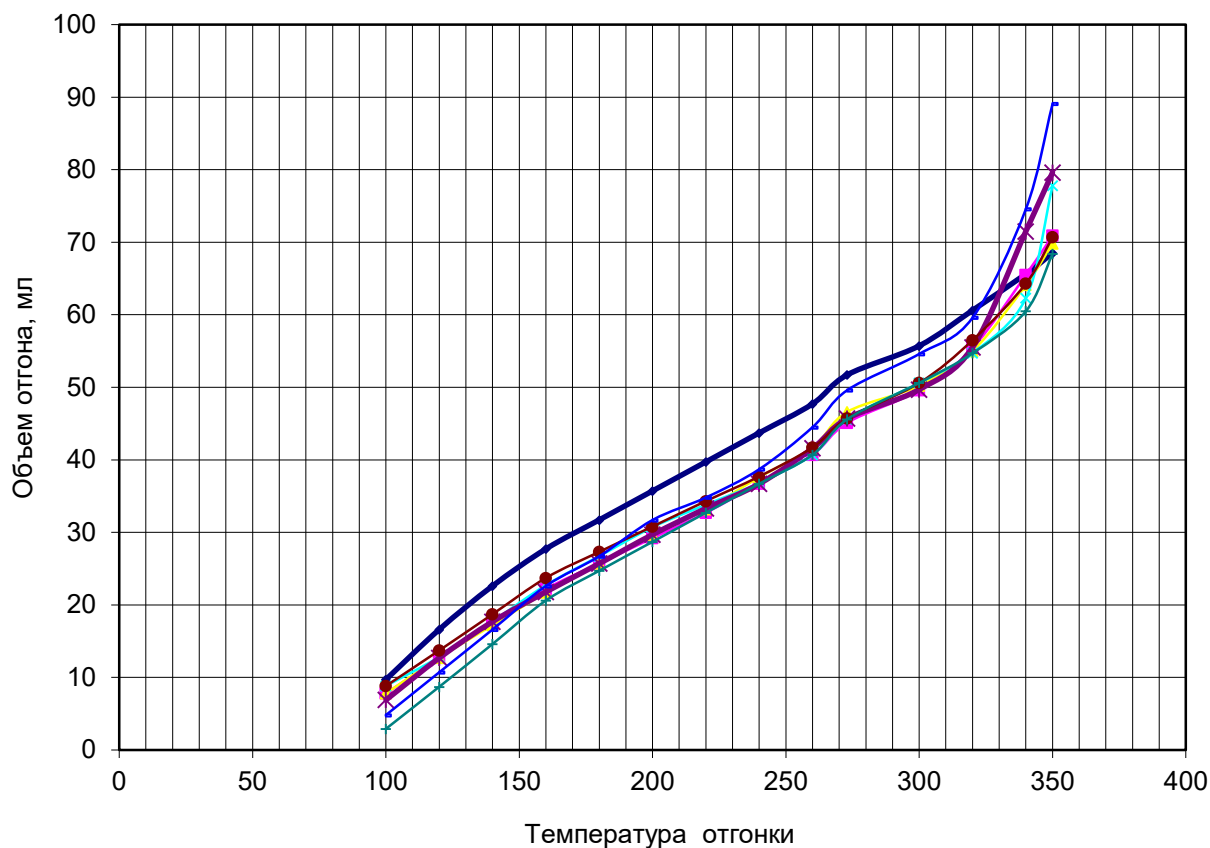


График зависимости выхода светлых от температуры. На нем мы видим, что при повышении температуры мы можем увеличить процент выхода светлых частиц.

1.1.2 Вакуумная перегонка

Вакуумная перегонка (рис.3,5,6) предназначена для отбора от мазута масляных дистиллятов на НПЗ топливно-масляного профиля, или широкой масляной фракции (вакуумного газойля) на НПЗ топливного профиля. Остатком вакуумной перегонки является гудрон. Необходимость отбора масляных фракций под вакуумом обусловлена тем, что при температуре свыше 380°C начинается термическое разложение углеводородов (крекинг), а конец кипения вакуумного газойля - 520°C и более.

Поэтому перегонку ведут при остаточном давлении 40-60 мм рт. ст., что позволяет снизить максимальную температуру в аппарате до 360-380°C. Разряжение в колонне создается при помощи соответствующего оборудования, ключевыми аппаратами являются паровые или жидкостные эжекторы.

1.1.3 Стабилизация и вторичная перегонка бензина

Получаемая на атмосферном блоке бензиновая фракция содержит газы (в основном пропан и бутан) в объеме, превышающем требования по качеству, и не может использоваться ни в качестве компонента автобензина, ни в качестве товарного прямогонного бензина. Кроме того, процессы нефтепереработки, направленные на повышение октанового числа бензина и производства ароматических углеводородов в качестве сырья используют узкие бензиновые фракции. Этим обусловлено включение в технологическую схему переработки нефти данного процесса (рис.4), при котором от бензиновой фракции отгоняются сжиженные газы, и осуществляется её разгонка на 2-5 узких фракций на соответствующем количестве колонн. Продукты первичной переработки нефти охлаждаются в теплообменниках, в которых отдают тепло поступающему на переработку холодному сырью, за счет чего осуществляется экономия технологического топлива, в водяных и воздушных холодильниках и выводятся с производства. Аналогичная схема теплообмена используется и на других установках НПЗ. Современные установки первичной переработки зачастую являются комбинированными и могут включать в себя вышеперечисленные процессы в различной конфигурации. Мощность таких установок составляет от 3 до 6 млн. тонн по сырой нефти в год. На заводах сооружается несколько установок первичной переработки во избежание полной остановки завода при выводе одной из установок в ремонт.

Сырая нефть – это смесь различных углеводородов в разных сочетаниях. Каждая составляющая имеет свою ценность, но только при выходе из переработки. Поэтому первой стадией переработки нефти является разделение ее на составляющие части. Это достигается путем высокотемпературной перегонки – по сути нагрева. Различные составляющие испаряются при разных температурах и затем их можно сконденсировать в отдельные «чистые» потоки. Некоторые из этих продуктов на выходе уже готовы для продажи. Другие подвергаются дальнейшей переработке, чтобы получить более дорогостоящие продукты.

При простой перегонке процессы, как правило, сводятся к удалению инородных частиц и внесению незначительных изменений в химические свойства. В крупных перерабатывающих комплексах производится более сложное преобразование на молекулярном уровне путем химических реакций. Этот процесс называется крекинг или конверсия. Результатом является увеличение выхода более качественных продуктов, таких как бензин, и снижение выхода таких дешевых продуктов, как мазут и асфальт.

Нефтяные скважины и в целом нефтедобывающий комплекс размещаются в непосредственной близости от нефтяных месторождений, а, как правило, прямо над месторождением нефти. Выбор места расположения нефтеперерабатывающего завода (НПЗ) требует более комплексного подхода. При размещении НПЗ учитывается близость к источникам сырья, магистральным нефтепроводам, потенциальным потребителям, а также наличие энергетических и трудовых ресурсов.

В России размещение нефтеперерабатывающих заводов сложилось уже к концу 70-х годов, в 80-х был построен только один НПЗ – Ачинский. В 2002 году был введен в строй НПЗ компании ТАНЕКО в Нижнекамске. Завод мощностью 7 млн. тонн нефти в год построен для переработки тяжелой сернистой нефти с месторождений Татарстана.

На сегодня в России действует 27 крупных нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ), обеспечивающих до 98% первичной переработки нефти. На мини-НПЗ перерабатывается 2% нефти.

Средняя глубина переработки:

- в России - 71,5%
- в США - 95%
- в Европе - 90%

1.1.4 Первичная переработка нефти

Переработка нефти делится на первичную переработку и вторичную переработку нефти.

Первичные процессы переработки не предполагают химических изменений нефти и представляют собой ее физическое разделение на фракции. Нефть поступает на завод по переработке нефти в подготовленном для транспортировки виде. Там она подвергается дополнительной очистке от механических примесей, удалению растворённых лёгких углеводородов (C1-C4) и обезвоживанию на электрообессоливающих установках (ЭЛОУ).

Завод по переработки нефти имеет следующую схему первичной перегонки: нефть нагревается в трубчатых печах и поступает в ректификационные колонны на атмосферную перегонку (перегонку при атмосферном давлении), где разделяется на несколько фракций: легкую и тяжёлую бензиновые фракции, керосиновую фракцию, дизельную фракцию и остаток атмосферной перегонки — мазут. Полученные компоненты моторных топлив направляются для доведения качества на вторичную переработку. Мазут в зависимости от схемы перегонки подвергается вакуумной разгонке либо выводится как товарный продукт.

В зависимости от температуры нагрева, из нефти может получаться различная продукция:

1. Бензин (температура выкипания 150–180 градусов). Низкооктановый бензин полностью готов уже на стадии первичной переработки. Высокооктановый бензин получают после вторичной переработки.
2. Керосин (температура выкипания 120–315 градусов). Применяется в реактивных и тракторных двигателях, осветительных приборах и в качестве сырья для установок гидроочистки.
3. Дизельное топливо (температура выкипания 180–360 градусов). Используется в качестве топлива или сырья для установок гидроочистки при вторичной переработке.
4. Мазут (температура кипения более 350 градусов). Используется в качестве топлива для котельных или сырья для гидроочистки и термического крекинга при вторичной переработке.
5. Вакуумные дистилляты (температура выкипания порядка 350–500 градусов). Применяются в качестве сырья для каталитического крекинга и гидрокрекинга при вторичной очистке.
6. Гудрон (температура выкипания более 500 градусов). Применяется при производстве битумов и масел, а также в качестве сырья для крекинга при вторичной переработке.

Если посмотреть на статистику первичной переработки нефти в России, можно увидеть, что пока перерабатывающая промышленность не может выйти на рекордные показатели, зафиксированные еще во времена СССР, но при этом количество ежегодно перерабатываемого сырья постоянно растет. В 1990 году первичной переработке подверглось 300 млн тонн сырой нефти. В течение 90-х годов эти показатели постоянно падали, а непрерывный рост начался лишь с 2001 года. В 2014 году был зафиксирован пока рекордный показатель в истории современной России — 294 млн тонн.

Правда, без ввода в эксплуатацию новых перерабатывающих установок на значительный рост первичной переработки в дальнейшем

надеяться не стоит. Если в 1990 загрузка перерабатывающих мощностей была на уровне 85%, то в 2014 году перерабатывающие установки работали почти на максимуме — 95% загрузки

1.1.5 Вторичная переработка нефти

Целью вторичных процессов является увеличение количества производимых моторных топлив, они связаны с химической модификацией молекул углеводородов, входящих в состав нефти, как правило, с их преобразованием в более удобные для окисления формы.

По своим направлениям, все вторичные процессы можно разделить на 3 вида:

- Углубляющие: каталитический крекинг, термический крекинг, висбрекинг, замедленное коксование, гидрокрекинг, производство битумов и т.д.
- Облагораживающие: риформинг, гидроочистка, изомеризация и т.д.
- Прочие: процессы по производству масел, МТБЭ, алкилирования, производство ароматических углеводородов и т.д.

Каталитический крекинг

Процесс термокаталитической переработки нефтяных фракций с целью получения компонента высокооктанового бензина и непредельных жирных газов. Сырьем для каталитического крекинга служат атмосферный и легкий вакуумный газойль, задачей процесса является расщепление молекул тяжелых углеводородов, что позволило бы использовать их для выпуска топлива. Остаток крекинга является компонентом мазута. Отличие от процесса термического крекинга способен перерабатывать больший спектр нефти и ориентирован на больший выход бензиновых компонентов. Выход бензина 25-30 %, дизельной фракции 20-25%. Требуется периодической регенерации катализатора.

Термический крекинг

Ориентирован на переработку высокопарафинистого и малосернистого мазута без использования катализаторов с дальнейшей отчисткой получаемых продуктов от непредельных углеводородов либо на абсорбционных аппаратах либо с помощью гидроочистки при использовании водорода. Дополнительный выход из мазута : бензина 15% дизельной фракции 35%. Остаток является тем же мазутом и составляет 48%. Упрощенным процессом термического крекинга с целью получения маловязких темных продуктов является процесс висбрекинга.

Гидрокрекинг

Гидрокрекинг — процесс расщепления молекул углеводородов в избытке водорода. Сырьем гидрокрекинга является тяжелый вакуумный газойль (средняя фракция вакуумной дистилляции). Главным источником водорода служит водородсодержащий газ, образующийся при риформинге бензиновых фракций. Основными продуктами гидрокрекинга на заводе по переработке нефти являются дизельное топливо и т. н. бензин гидрокрекинга (компонент автобензина).

Нетрадиционные способы использования нефти

Товары, производящиеся из нефтесодержащей продукции, используются практически во всех сферах жизнедеятельности человека. Это не только топливо, смазочные материалы, нефтехимическое сырье и растворители.

Одежда

Постепенно все большую популярность набирает одежда из синтетических материалов. Один из наиболее распространенных из них — полиэстер, получается из нескольких форм нефтепродуктов. Главными преимуществами одежды из полиэстера являются несминаемость и долговечность. Еще один популярный материал, получаемый из нефтепродуктов — нейлон. Из него производят практически любую одежду: от брюк и курток до женских колготок.

Лекарства

Из фенола, получаемого из нефти, производят ацетилсалициловую кислоту (аспирин), которая весьма популярна в мире. Полученные в результате переработки нефти этилы и спирт используются при производстве антибиотиков. Из еще одного продукта переработки нефти — нитробензола, получают анилин, применяющийся при создании антимикробных препаратов.

Еда

Благодаря содержащимся в нефти углеводородам, можно производить молочную продукцию, колбасу, мясо и другие биогенные продукты. По подсчетам из 2% ежегодно добываемой в мире нефти можно произвести 2 млн тонн белка. Этого вполне достаточно для того, чтобы прокормить 2 млрд человек, что вполне могло бы решить проблему нехватки продовольствия на Земле, о которой все чаще твердят ученые в последнее время.

Существует миф, что из белка, созданного на основе нефти, производят икру. Он появился в 60-е годы XX века, когда в СССР только пробовали производить синтетическую икру, получаемую из бактерий, питательной средой которых служили нефтесодержащие растворы.

Косметика и парфюмерия

Продукты нефтехимии широко используются при производстве красителей, лаков, парфюмов, косметических карандашей, губной помады и теней для век.

Описанные выше процессы переработки нефти наиболее актуальны в данный момент. Но мир не стоит на месте, в последние годы создано немало технологий, которые могут в корне изменить процесс переработки нефтепродуктов и технологию их использования.

Вопрос качества бензина и дизельного топлива волнует миллионы российских автолюбителей. Об этом написаны тысячи статей. Однако практически ничего не изменилось за прошедшие годы. Качество нефтепродуктов оставляет желать лучшего. Если бензин можно с натяжкой отнести к топливу с удовлетворительным качеством, то проблемы качества дизельного топлива остаются на том же неудовлетворительном состоянии. По этой причине большинство автолюбителей предпочитает покупать бензиновые авто, не смотря на всю привлекательность и экономичность дизельного двигателя. Всем известны истории о неожиданном выходе из строя дизельного двигателя после заливки очередной порции дизельного топлива сомнительного состава. В последние годы западные производители автомобилей перешли к производству высокоэкономичных дизелей нового поколения с давлением подачи топлива в цилиндры двигателя до 2000 атмосфер. Это потребовало ужесточения требований к дизельному топливу по фракционному составу, температуре вспышки и по цетановому числу.

Из-за высокой экономичности новых дизельных двигателей и высокой стоимости топлива в Западной Европе наблюдается бум продаж дизельных авто. Среди новых проданных автомобилей доля дизельных авто в среднем достигает до 35 %, а во Франции уже около 50 %. И это можно понять, учитывая экономичность дизельных двигателей и их надежность при правильной эксплуатации и при наличии качественного дизельного топлива.

Очевидно, что стоимость топлива будет только расти в будущем, поэтому рано или поздно российский автолюбитель постепенно обратит свои взоры на дизельные автомобили. Есть ли у него возможность эксплуатировать дизельный автомобиль на качественном топливе? С нашей точки зрения такая возможность есть, и данная статья посвящена именно этому.

В настоящей работе мы предлагаем фактический материал с данными о нефтепродуктах высокого качества, получаемых на мини-НПЗ, основанных на ректификационной технологии Линас.

1.2 Проблема качества дизельного топлива

В данном разделе попробуем проанализировать основные проблемы низкого качества дизельного топлива. Мы не претендуем на абсолютную полноту излагаемой здесь информации. Но, работая в области нефтепереработки более 5 лет, определенные опытные данные у нас собрались.

Мы не сомневаемся в качестве дизельного топлива, производимого на больших НПЗ. За ворота НПЗ отправляется, как правило, дизельное топливо, соответствующее стандартам России.

А вот что происходит дальше, почему его качество снижается, доходя до потребителя?

Рассмотрим ситуацию за Уралом. На всю гигантскую территорию от Урала до Владивостока имеется реально только пять больших НПЗ. Это на 7000 километров. А потребитель имеется везде на этой территории, и до него необходимо это топливо доставить. Это означает, что топливо многократно перегружается из цистерн в баки нефтехранилищ и обратно и может храниться длительное время. Чистота баков и цистерн часто желает лучшего. Более того, встречаются случаи, когда одна и та же цистерна используется для перевозки бензина, дизельного топлива и керосина. Это приводит к попаданию в топливо

ненужных фракций другого топлива, что понижает качество.

Учитывая особенности климата, часто наблюдается конденсация влаги в цистернах и это приводит к увеличению содержания влаги в дизельном топливе. Все это оборачивается большими проблемами у владельцев машин.

При доставке на большие расстояния проходит время и часто летнее дизельное топливо попадает к потребителю зимой, когда необходимо уже зимнее дизельное топливо. Чем это все кончается хорошо известно водителям дизельных машин. Мы уже не говорим о том, что иногда наблюдается подмешивание к качественному дизельному топливу различных отстоев и сливов, ничего общего не имеющих с дизельным топливом.

Где же выход из этого положения?

Теоретически можно организовать строжайший контроль за доставкой дизельного топлива от завода до потребителя. К сожалению, в ближайшее время рассчитывать на радикальное улучшение всей системы доставки и контроля топлива не приходится.

Есть и другой путь улучшения качества продаваемого дизельного топлива. Он состоит в приближении места получения дизельного топлива к реальному потребителю.

Ясно, что строительство больших НПЗ крайне проблематично, да и нет в этом необходимости. Наиболее оптимальным вариантом является строительство сравнительно небольших мини-НПЗ, на которых бы производилось высококачественное дизельное топливо. Причем это топливо желательно продавать в ближайших больших городах, где в основном, сконцентрированы автомобили с дизельными двигателями нового поколения.

Желательно отправлять качественное дизельное топливо непосредственно с мини-НПЗ на фирменные автозаправочные станции напрямую, минуя всех посредников. Через некоторое время потребители быстро оценят качество продукции, и уже не понадобится их убеждать заправляться только на данных автозаправочных станциях.

При этом переход с летнего дизельного топлива на зимнее будет проходить

быстро и своевременно. Это позволит избежать проблем, характерных для всех регионов Сибири и Дальнего Востока каждый год в переходный осенне-зимний период.

Данное направление, конечно, не решит полностью проблемы качественного дизельного топлива, но позволит значительно ее уменьшить и предоставить потребителям выбор.

1.3 Ректификационная технология Линас и мини-НПЗ на ее основе



Рассмотрим сейчас центральный вопрос - а возможно ли получение качественного дизельного топлива на мини-НПЗ. Можем совершенно определенно ответить. Да, это возможно и доказано нами на реально действующем промышленном мини-НПЗ.

На Интернет сайте www.linass.ru подробно изложены основы новой ректификационной технологии Линас и ее применение в промышленности. В настоящий момент мы применяем данную технологию для первичной

перегонки нефти на мини-НПЗ различной мощности с получением трех основных продуктов: прямогонного бензина, высококачественного дизельного топлива (летнего и зимнего) и высококачественного товарного мазута марки М100.

Существует довольно распространенное мнение, что на мини-НПЗ нельзя получить высококачественные нефтепродукты. Это можно понять, так как у всех перед глазами многочисленные примеры так называемых "самопальных самоваров", на которых делается самая примитивная разгонка нефти.

При первичной перегонке нефти на мини-НПЗ в самом простом варианте получают: прямогонный бензин (не может быть использован как товарное бензиновое топливо и используется как сырье для нефтехимии или как составляющая товарного бензинового топлива), товарное дизельное топливо и товарный мазут. Таким образом, в качестве готового моторного топлива можно использовать дизельное топливо. Мазут используется как топливо, но для котельных и ряда других применений.

Несмотря на приставку мини, нефтепродукты, соответствующие ГОСТовским требованиям получать на мини-НПЗ можно. Это делается в реальной жизни на мини-НПЗ, прошедших экспертизу государственных органов и имеющих разрешение на применение и все необходимое для этого техническое обеспечение. Как правило, это все зарубежные мини-НПЗ (компании Val Verde, Red, Chemex и другие). Из отечественных мини-НПЗ это, прежде всего, установки компании Белэнергомаш, Спецстройинжиниринг и Линас-Техно (совместно с американской компанией Linas Technology International Corporation).

Зарубежные мини НПЗ, по сути, представляют уменьшенную копию больших НПЗ и на них получают качественные нефтепродукты при довольно сложной ректификационной технологии и высококачественной управляющей автоматике. Соответственно и цена этих мини-НПЗ достаточно

высока. Как правило, еще одним недостатком таких установок является неполное соответствие климатическим условиям России, особенно Сибири и Севера.

На большинстве российских мини-НПЗ уровень качества продукции несколько ниже, так как для уменьшения стоимости оборудования отсутствует дополнительная колонна, необходимая для отпарки дизельного топлива. Это приводит к увеличению содержания легких фракций в дизельном топливе и к ухудшению его качества. Одновременно в дизельном топливе при использовании традиционной ректификационной колонны может увеличиться содержание тяжелых фракций с температурой кипения выше 360°C. Особенно, если стараться выжать максимум светлых фракций из тяжелого остатка. И это обычно делается в ущерб качеству дизельного топлива. Кроме того, уровень автоматизации ректификационного процесса также уступает строгим требованиям по выдерживанию основных параметров, что приводит к колебанию параметров ректификационного режима и соответственно качества продукции.

В целом, по основным параметрам, полученное таким образом дизельное топливо, укладывается в основные параметры ГОСТа. Однако такое топливо далеко от требований международных стандартов, в частности по фракционному составу и температуре вспышки.

Понимая это и учитывая тот факт, что дизельное топливо является самым ценным товарным продуктом при первичной перегонки нефти на мини-НПЗ, мы сконцентрировались на создании установки, на которой можно было бы получать высококачественное товарное дизельное топливо, близкое по основным параметрам к западным стандартам. Под основными параметрами

понимается строгое выдерживание фракционного состава и температуры вспышки. От уровня этих параметров зависит качество топлива. Использование преимуществ ректификационной технологии Линас позволяет это сделать.

Мы не ставили перед собой целью получение дизельного топлива, полностью соответствующего так называемому Евростандарту. Прежде всего, из-за содержания серы в топливе. Используя для мини-НПЗ нефть первой категории, мы гарантированы в содержании серы в пределах требований ГОСТа (0,2 %). Достижение же содержания серы в дизельном топливе на уровне 0,02% согласно требований Евростандарта, возможно только при проведении гидроочистки, что делать на мини-НПЗ экономически нецелесообразно.

При разработке мини-НПЗ на основе технологии Линас в конструкции ректификационной колонны Линас был предложен ряд оригинальных решений, которые позволили принципиально улучшить качество получаемого дизельного топлива. Данная цель была достигнута уже на первой НПУ-8(10), которая находится в промышленной эксплуатации в Кузбассе.

По ряду показателей на мини-НПЗ Линас были получены дизельное топливо, близкие к евростандартам. Это касается, прежде всего, фракционного состава и температуры вспышки. Одновременно резко улучшились показатели температуры замерзания и вязкости и ряд других параметров. Причем, данное качество обеспечивается постоянно в процессе эксплуатации НПЗ при различных режимах работы (летнее и зимнее топливо), как с полной нагрузкой, так и при снижении нагрузки до 50% и более.

Высокое качество дизельного топлива было достигнуто за счет факторов:

1. Ряд особенностей собственно технологии Линас.
2. Введение в ректификационную колонну дополнительной компактной секции по отпарке легких фракций из дизельного топлива. Одновременно эта же секция удаляет из дизельной

фракции основную часть тяжелых фракций с температурой кипения выше 360°C.

3. Применение специального стриппинга, основанного на технологии Линас.
4. Высококачественная промышленная система автоматизации, позволяющая выдерживать температурный режим в ректификационной колонне с колебаниями не более одного градуса.

Конкретные цифры, подтверждающие высокое качество получаемого дизельного топлива, приведены в таблице 1.

Характеристики качества дизельного топлива (летнего и зимнего), получаемого на мини-НПЗ Линас в сравнении с требованиями ГОСТа.

Таблица 1

Наименование показателей	Норма по ГОСТ 305-82 для: Летнего Зимнего	Наименование НТД	Получаемое летнее дизельное топливо, фактические данные	Получаемое зимнее дизельное топливо, фактические данные
Фракционный состав:		ГОСТ 2177-82		
50 % перегоняется при температуре, не выше, °C	280 280		230-245	230-235

96 % перегоняется при температуре не выше, °С	360 340		350-360	336-340
Кинематическая вязкость при 20 °С (сСт)	3,0-6,0 1,8-5,0	ГОСТ 33-82	3,0	2,0-2,7
Температура вспышки в закрытом тигле, не ниже, °С	40 35	ГОСТ 6356-75	56-65	56-60
Массовая доля серы в %, не выше	0,2 0,2	ГОСТ 19121- 73	0,16	0,15
Температура помутнения, не выше, °С	-5 -25	ГОСТ 5066-91	-14	-27...-(-30)
Температура застывания, не выше, °С	-10 -35	ГОСТ 20287- 91	-21	-40
Кислотность в мг КОН на 100 мл, не более	5,0 5,0	ГОСТ 5985-79	0,1-0,2	0,1

Цетановое число, в г топлива на 100 г топлива, не более	6,0 6,0	ГОСТ 2070-82	1,4-1,5	1,4
Зольность, %, не более	0,01 0,01	ГОСТ 1461-75	отсутствует	отсутствует
Коксуемость 10 % остатка, в %, не более	0,20 0,30	ГОСТ 19932- 74	0,05-0,07	0,05
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	отсутствие отсутствие	ГОСТ 6307-75	отсутствует	отсутствует
Содержание механических примесей	отсутствие отсутствие	ГОСТ 6370-83	отсутствует	отсутствует
Содержание воды	отсутствие отсутствие	ГОСТ 2477-65	отсутствует	отсутствует
Плотность при 20°С, не более	0,860 0,840	ГОСТ 3900-85	0,820-0,830	0,820

Анализ данных, представленных в таблице, показывает, что параметры получаемого дизельного топлива существенно перекрывают требования ГОСТа. По фракционному составу и температуре вспышки данное дизельное топливо удовлетворяет требованиям евростандарта. Цетановое число получаемого дизельного топлива лежит в диапазоне 45-50 при требовании ГОСТа

Наряду с объективными цифровыми показателями в пользу получаемого дизельного топлива говорят и субъективные оценки водителей, использующих данное топливо. Они наблюдали ощутимое увеличение мощности двигателя и его приемистости. Одновременно значительно уменьшилась дымность выхлопных газов.

Даже по внешнему виду данное топливо отличается от обычного. Оно светлее и имеет более слабый желтый оттенок. Наверное из-за этого данное топливо стали называть "солярка питьевая". Конечно это жаргон, но часто такие меткие слова более точно отражают качество продукта, чем многочисленные технические параметры.

Есть еще один психологический параметр для покупателей продукции мини-НПЗ. Они знают, что топливо завозится с конкретного мини-НПЗ, который находится рядом, а не с неизвестного НПЗ за тысячу километров. И есть с кого спросить за качество продукта.

В настоящей статье мы сконцентрировали внимание читателей на качестве дизельного топлива. Однако и другие продукты, получаемые на мини-НПЗ Линас, а именно прямогонный бензин и мазут полностью соответствуют требованиям стандартов. Более того, впервые для мини-НПЗ удалось получать мазут марки M100 в режиме получения как летнего, так и зимнего дизельного топлива. Этот результат получен только благодаря применению технологии Линас.

1.4 Технология ВСМА

Технология ВСМА - это запатентованный способ многокомпонентного физико-химического воздействия на сложные жидкие системы, применяемый

для изменения их реологических свойств и получения требуемых параметров. Вибратор электромагнитный активационный предназначен для активации (перемешивания, разжижения, диспергации) нефтепродуктов, содержащих парафины, асфальтены и т.п., и других высоковязких жидкостей, обладающих тиксотропными свойствами. [3].

В ОАО НПФ «Геофит» и Томском политехническом университете разработана оригинальная технология – технология виброструйной магнитной активации жидких сред (ВСМА) и устройства ВСМА для обработки неньютоновских жидкостей. Активными факторами воздействия на жидкости являются модулированная вибрация, как фактор разрушения, и турбулизованные затопленные струи, как фактор комплексный фактор разрушения и увеличения объема активации с преобладанием последнего.

Основой для конструкций различных устройств ВСМА является единичный модуль, представляющий собой электромеханическое устройство с широким диапазоном регулирования частоты и величины питающего напряжения. Уникальное сочетание факторов активации в одном устройстве и высокие удельные характеристики достигаются оригинальными конструкциями отдельных узлов модуля.

Оригинальная конструкция рабочих органов оборудования ВСМА обеспечивает наличие в среде замкнутых потоков жидкости, которые, в свою очередь, создают условия для многократного попадания отдельных порций жидкости в зону активации. Применение оборудования ВСМА для активации природных сапропелей сопровождается, во-первых, диспергирование исходного материала, а, во-вторых, приводит к определенным изменениям его химического состава.

Липидный комплекс сапропелей разнообразен по химическому составу биологически активных соединений (БАС). Наибольший интерес представляют жирные кислоты (ЖК), которые находятся в природном

органическом сырье в свободном и связанном состоянии (триглицериды, фосфолипиды, гликолипиды и др.). Высокая эффективность применения механо-физических воздействий позволяет управлять превращениями липидов и получать продукты с заданными свойствами.

Создание многофункционального реактора электромагнитного вибрационного типа позволило получить высококонцентрированные (пасты) и разбавленные (экстракты) суспензии в водной среде. В процессе переработки сапропеля происходит гомогенизация и диспергирование частиц сырья, разрушение клеточной структуры и высвобождение внутриклеточных БАС. Кроме того, происходит гидролиз сложных липидов до ЖК, растворимость которых в водной среде повышается за счет мицеллообразования. Как известно, коллоидные формы усваиваются клетками организма до 98%. С медицинской точки зрения коллоидные растворы имеют несомненные преимущества.

Содержание ЖК в пасте превышает содержание ЖК в исходном сырье примерно в 3 - 5 раз за счет гидролиза сложных липидов при достаточно мощном комплексном электромеханическом воздействии [13].

Способ ВСМА технически и коммерчески перспективен для:

- создания виброактивационных скважинных снарядов для обработки призабойной зоны пласта, в том числе для увеличения нефтеотдачи;
- создания установок утилизации нефтешламов;
- создания высокорентабельных установок предварительной обработки нефти для увеличения выхода светлых;
- создания приборов для очистки насосно-компрессорных труб без их демонтажа;
- создания компактных мобильных установок подготовки товарной нефти.

Наиболее разработанным направлением эффективного использования технологии ВСМА является применение ВСП для обработки высоковязких нефтей для подготовки их к транспорту путем значительного снижения вязкости. Полученный эффект снижения вязкости нефти при обработке ее устройствами ВСМА наблюдается в широком температурном диапазоне.

Начиная с первой половины 90-х годов начались активные работы по созданию промышленных устройств для обработки различных многокомпонентных жидких систем с целью получения требуемых эксплуатационных характеристик. [8].

Необходимость создания лабораторных установок обусловлена, во-первых, проведением большого объема работ исследовательского и поискового характера, а, во-вторых, и что наиболее важно, работ аналитического характера, являющихся одним из первоначальных этапов определения технологических параметров применения промышленных устройств.

Виброструйная магнитная активация с определенной энергией в следствие разрушению кристаллизационных структур может привести к сильному изменению структурно-вязкостных свойств нефти.

С точки зрения теории колебаний данная колебательная система состоит из элементов конструкции (якорь, упругий элемент) и элементов нагрузки, которой является жидкая среда. К элементам нагрузки относят: присоединенную массу среды, которая колеблется в фазе с якорем и зависит от плотности жидкости; упругости неньютоновских жидкостей при малых значениях сдвиговых скоростей складываются с упругостями вибратора, изменяя резонансную частоту системы. При больших сдвиговых скоростях структура жидкости, определяющая ее упругость нарушается и эффективная вязкость жидкости снижается.

В основу устройства положен принцип резонанса. Амплитуды и резонансные частоты зависят от плотности и вязкости среды, поэтому и частотные характеристики существенно отличаются. Поэтому задача создания эффективных устройств ВСМА заключается в корректном подборе активных конструктивных элементов вибратора: массы и габаритов активатора, геометрии зоны активации; жесткости подвеса активатора, в совокупности обеспечивающих работу с максимальными амплитудами активатора.

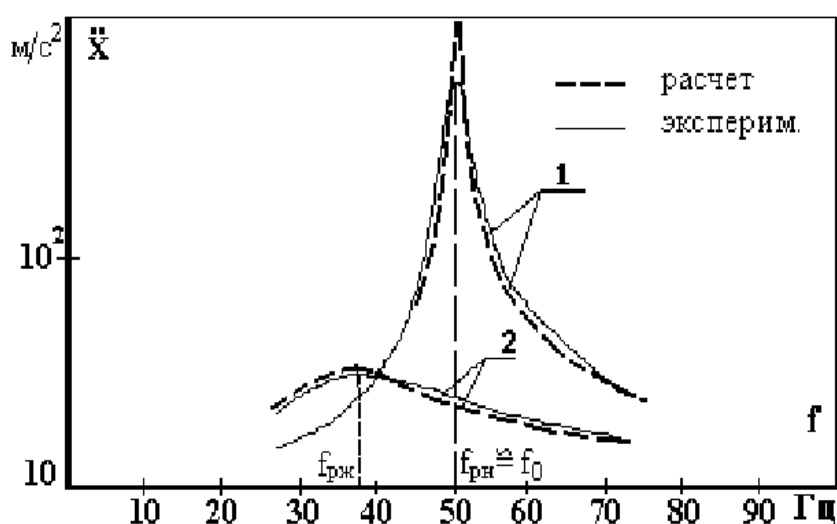


Рисунок 1. Частотные характеристики колебания активатора.

1 - частотная характеристика колебаний активатора на воздухе.

2 - частотная характеристика колебаний активатора в воде.

Образцы оборудования ВСМА имеются. Оно обладает определёнными преимуществами. Однако стоит задача увеличения производительности обработки. Производительность зависит от расхода обрабатываемой жидкости, который в свою очередь зависит от амплитуды колебаний активатора. Амплитуда колебаний активатора в жидкости во многом определяется величиной гидравлического сопротивления, которое для

рассматриваемого случая зависит от формы и размеров сопла активатора. Поэтому в работе предлагается исследовать зависимость производительности активации устройств ВСМА в зависимости от формы сопла. В существующих образцах оборудования ВСМА форма сопла, определяющего струеобразование, является трапециидальной. Очевидно, что в местах переходов трапециидальной формы сопла, возникает турбулизация потока жидкости, что сказывается на увеличении гидравлического сопротивления. Увеличение гидравлического сопротивления приводит к уменьшению амплитуды колебания активатора и, соответственно, к уменьшению производительности обработки. Из источников известно, что для уменьшения гидравлического сопротивления при протекании жидкости через сопло рекомендуется использовать сопла лавали или вентури. Указанные сопла характеризуются плавными переходами отдельных участков, что существенно уменьшает гидравлического сопротивления течения жидкости.

Следовательно, преимущества оборудования и технологии ВСМА, приведённые выше, обусловленные наличием высоких удельных характеристик физических воздействий на обрабатываемую среду, позволяют устранить недостатки существующих устройств (или существенно повысить эксплуатационные характеристики, или т.п.).

Необходимая производительность предлагаемых устройств ВСМА, задаваемая конкретными требованиями эксплуатации, может быть достигнута выполнением готового устройства, состоящего из нескольких модулей, каждый из которых обеспечивает свою равную долю производительности. Зная общие требования по обеспечению производительности готового устройства и показатели производительности отдельного модуля, можно определить необходимое количество таких модулей, объединённых в единую конструкцию.

Существенным отличием устройств ВСМА является работа в режимах близких к резонансу. Такой режим работы устройств ВСМА обеспечивает

максимальные удельные показатели по производительности обработки при минимальных затратах электроэнергии. Практически параметры обрабатываемых жидкостей, учитывая их изменяющийся компонентный состав, не являются постоянными. Тогда для обеспечения работы устройств ВСМА в режимах, близких к резонансу, необходимо предусматривать возможность регулирования частоты воздействий. Для электромагнитных устройств, каковым и являются устройства ВСМА, это реализуется использованием частотных преобразователей.

Таким образом, учитывая вышеизложенное, основные исходные данные настоящей работы по проектированию устройства ВСМА, предназначенного для установки по переработке нефти можно свести к следующему:

1. Напряжение питания, В - 220/380, 50 Гц
2. Производительность обработки, м³/час, не менее - 2,5 3.
- Возможность частотного регулирования воздействий.
4. Устройство ВСМА является модульным

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ВИБРОАКТИВАТОРА ДЛЯ УСТАНОВКИ ПО ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

2.1 Единичный рабочий модуль виброобработки

Из опыта разработок устройств ВСМА следует, что наиболее целесообразным при разработки конструкции устройства для установки по переработки нефти, является модульный подход, позволяющий оптимально решить поставленные в работе задачи: обеспечить требуемую производительность при заданных габаритах. Дополнительно, решается задача обеспечения высокой работоспособности и надёжности.

Модуль виброобработки (МВО) является основной частью виброактиватора для установки по переработки нефти. и осуществляет непосредственное виброструйное магнитное воздействие на жидкую среду.

МВО состоит из:

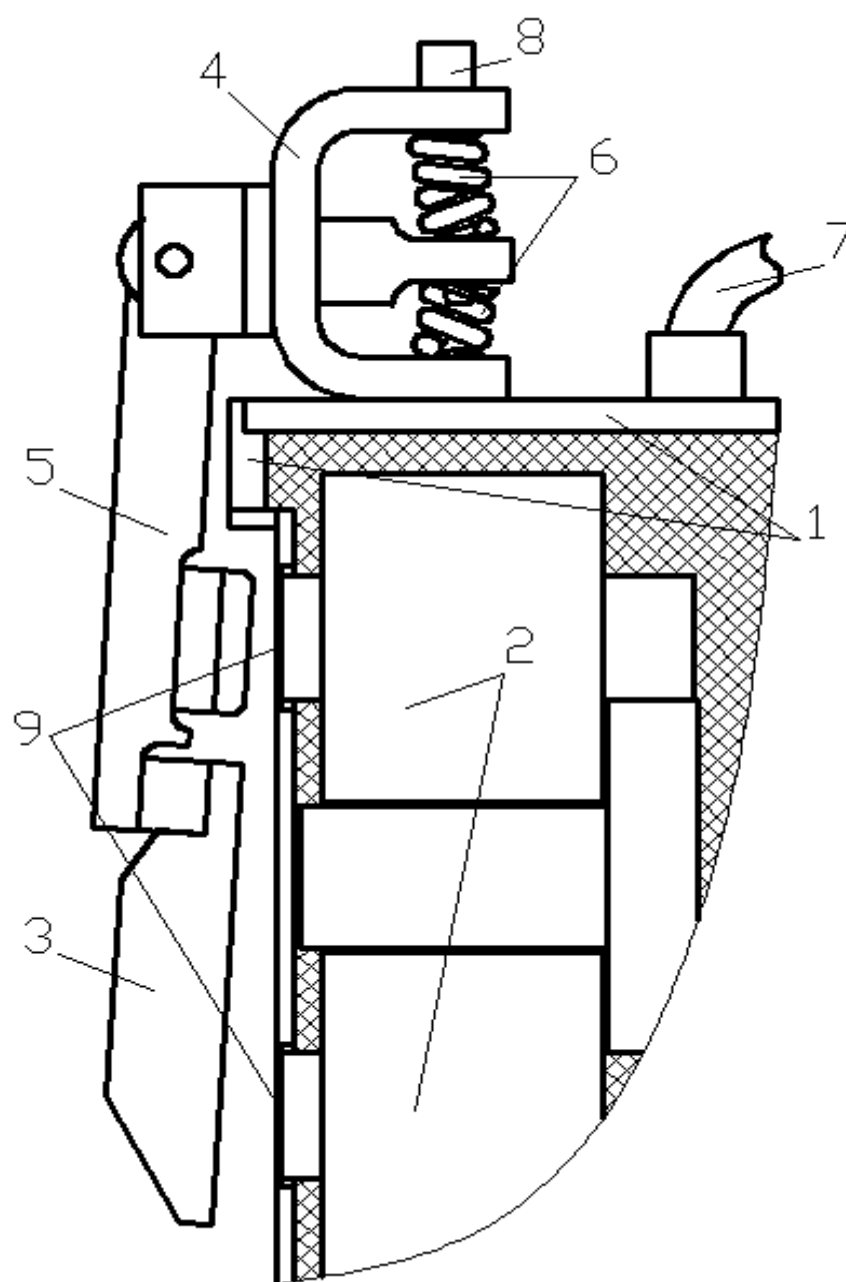


Рисунок 2.1 Конструкция модуля виброобработки

1 – корпус;

2 – электромагнит;

3 – активатор;

4 – кронштейн;

5 – рычаг;

6 – упругость (пружина);

7 – устройство ввода;

8 – регулирующий винт;

9 – стенка МВО.

Корпус МВО 1 предназначен для размещения электромагнита 2 в объёме, изолированном от воздействия среды обработки и поэтому он должен быть герметичным. Пространство корпуса, не занятое электромагнитом, заливается компаундом, для обеспечения лучшего теплоотвода с обмоток и магнитопровода.

Электромагнит 2 предназначен для создания возмущающей силы в колебательной системе. Электромагнит жёстко связан с корпусом, поэтому в данной конструкции колебания совершает активатор 3, являющийся якорем электромагнита. Сердечник электромагнита выполнен из листов электротехнической стали П-образной формы, набранных в пакет. На обоих стержнях сердечника расположены одинаковые катушки. Активатор выполнен из цельной заготовки. Активатор может быть выполнен круглой или квадратной формы. В теле активатора выполнено специальное трапециидальное отверстие для формирования затопленных струй. Активатор 3 закреплён на длинном плече рычага 5. Крепление подвижных элементов МВО к корпусу производится при помощи кронштейна 4.

Возвращающую силу колебательной системы МВО формируют упругости 6, представляющие из себя цилиндрические пружины.

Регулировочный винт 8 предназначен для регулировки начального зазора между активатором и стенкой корпуса МВО.

МВО, представляющий собой колебательную систему, работает в резонансном режиме, который позволяет при минимальных энергозатратах оказывать максимальное комплексное виброструйное магнитное воздействие

на нефть, находящийся в цистерне. Объясняется это тем, что в резонансе амплитуда колебаний активатора является максимальной. Резонансный режим обеспечивается соответствующим сочетанием массы колеблющихся элементов и жёсткости. Исходными данными для определения значения жёсткости пружин является масса активатора.

При работе МВО на воздухе можно предположить, что данный режим соответствует колебаниям активатора на собственной частоте, так как потери практически отсутствуют. В этом случае, если известны частота колебаний и масса активатора, можно расчётным путём определить жёсткость.

По условиям задания для некоторых исполнений ЭМП установлено, что частота собственных колебаний находится в пределах, от 60 до 70 Гц. Масса активатора определяется из выбранных его геометрических размеров.

Активатор является основной частью лабораторной установки. Он закреплен на корпусе с помощью регулируемых узлов крепления и пружин на заданном расстоянии от стенки кюветы, прилегающей к полюсам магнитопровода. На пластине активатора установлены специальные отверстия через которые нефтепродукт или другая обрабатываемая жидкая среда, заключенные в пространстве между активатором и стенкой оболочки, проходит через них образуя затопленные струи.

Чертёж активатора приведен на рисунке 2.2, размеры активатора представлены в таблице 2.1.

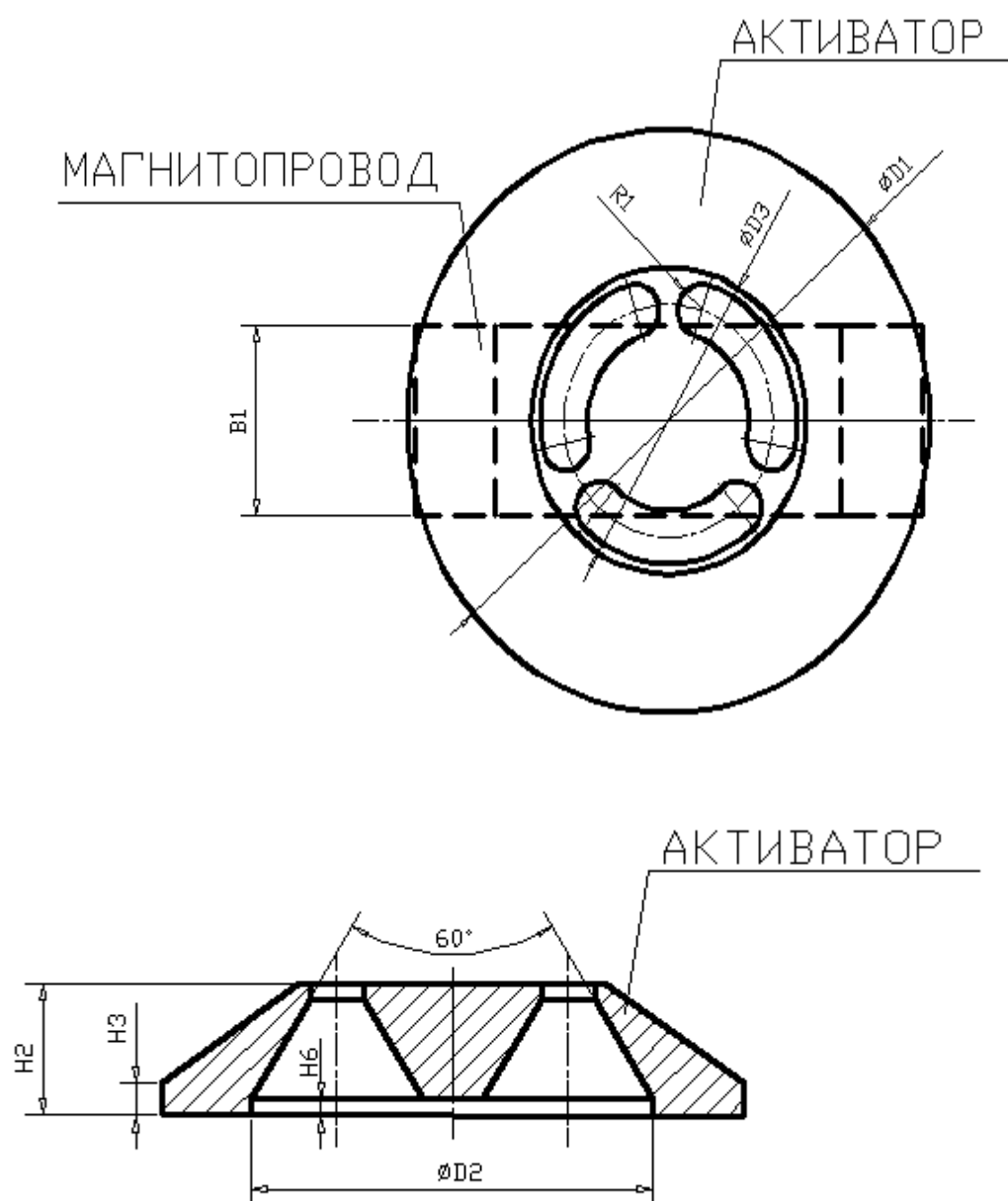


Рисунок 2.2 – Общий вид активатора

Таблица 2.1 – размеры активатора (мм).

Н1	Н2	Н3	Н4	Н5	В1	В2	В3	В4	Д1	Д2	Р1
120	33	9	30	90	50	25	149	199	200	150	10

2.2 Вычисление объема и массы активатора

Объем активатора без учета пустот:

$$V_{\text{общ}} = \pi \left(\left(\frac{D_1}{2} \right)^2 \cdot H_3 + \frac{1}{3} \cdot (H_2 - H_3) \cdot \left(\left(\frac{D_1}{2} \right)^2 + \left(\frac{D_1 \cdot D_3}{4} \right) + \left(\frac{D_3}{2} \right)^2 \right) \right) \quad (2.2.1)$$

$$V_{\text{общ}} = 3.14 \left(\left(\frac{200}{2} \right)^2 \cdot 9 + \frac{1}{3} \cdot (33 - 9) \cdot \left(\left(\frac{200}{2} \right)^2 + \left(\frac{200 \cdot 132}{4} \right) + \left(\frac{132}{2} \right)^2 \right) \right) = 8.09 * 10^5 \text{ мм}^3$$

Объем нижней пустой цилиндрической полости:

$$V_1 = \pi \left(\left(\frac{D_2}{2} \right)^2 \cdot H_6 \right) \quad (2.2.2)$$

$$V_1 = 3.14 \cdot \left(\frac{150}{2} \right)^2 \cdot 4 = 7.04 * 10^4 \text{ мм}^3$$

Объем одного выреза (верхней частью выреза пренебрегаем, т.к. она имеет несущественные размеры):

$$V_2 = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot (H_2 - H_6) \left(\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\left(\frac{D_3}{2} - R_1 \right) + 0.42 \cdot 2 \cdot R_2 \right) + \pi \cdot R_1^2 \right) + \sqrt{\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\left(\frac{D_3}{2} - R_1 \right) + 0.42 \cdot 2 \cdot R_1 \right) + \pi \cdot R_1^2 \right) + \left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\left(\frac{D_2}{2} - R_3 \right) + 0.38 \cdot 2 \cdot R_4 \right) + \pi \cdot R_3^2 \right)} \cdot \left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\left(\frac{D_2}{2} - R_3 \right) + 0.38 \cdot 2 \cdot R_4 \right) + \pi \cdot R_3^2 \right) \right), \quad (2.3.3)$$

где $R_4 = D_2 - 2 \cdot R_3$

$$V_2 = \frac{1}{3} \cdot 3.14 \cdot (33 - 4) \left(\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\left(\frac{132}{2} - 10 \right) + 0.42 \cdot 2 \cdot 75 \right) + 3.14 \cdot 10^2 \right) + \sqrt{\left(\frac{3.14}{2} \cdot ((66 - 10) \left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\left(\frac{150}{2} - 66 \right) + 0.38 \cdot 2 \cdot 36 \right) + 3.14 \cdot 51^2 \right) + \left(\frac{3.14}{2} \cdot \left(\left(\frac{150}{2} - 66 \right) + 0.38 \cdot 2 \cdot 18 \right) + 3.14 \cdot 66^2 \right) \right)} \cdot \left(\frac{3.14}{2} \cdot \left(\left(\frac{150}{2} - 66 \right) + 0.38 \cdot 2 \cdot 18 \right) + 3.14 \cdot 66^2 \right) \right) = 2.9 * 10^4 \text{ мм}^3$$

Объем активатора:

$$V = V_{\text{общ}} - V_1 - 3 \cdot V_2 \quad (2.2.4)$$

$$V = 8.09 \cdot 10^5 - 7.04 \cdot 10^4 - 3 \cdot 2.9 \cdot 10^4 = 82749.23 \text{ мм}^3 = 6.8 \cdot 10^5 \text{ мм}^3$$

Переведем объем в метры кубические:

$$V \cdot 10^{-9} = 6.8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \quad (2.2.5)$$

Масса активатора:

$$M = V \cdot \rho, \quad (2.2.6)$$

где ρ – плотность стали.

$$M = 6.8 \cdot 10^{-4} \cdot 7800 = 5.3 \text{ кг}$$

Для приведённых значений жёсткость рассчитывается

$$C = \omega_0^2 \cdot M, \quad (2.2.7)$$

где: $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0 = 2 \cdot 3.14 \cdot 59 = 370.7$ – угловая частота собственных колебаний.

$$C = 370.7^2 \cdot 5.3 = 7.372 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$$

Образование затопленных струй при работе МВО происходит следующим образом. При подаче напряжения на МВО по обмоткам магнитопровода протекает ток, создающий электромагнитную силу притяжения активатора к полюсам стержней магитопровода. Активатор при этом движется в сторону стенки МВО. Жидкость, находящаяся в пространстве между основанием активатора и стенкой МВО выдавливается через отверстие в активаторе, образуя пульсирующую затопленную струю жидкости. При этом пружина сжимается, запасая кинетическую энергию. При снятии напряжения

с обмоток электромагнитная сила притяжения становится равной нулю и за счёт кинетической энергии, запасённой в пружине, активатор начинает двигаться в обратном направлении - от стенки МВО. При питании обмоток напряжением переменной частоты и использовании диода активатор совершает гармонические колебания, частотой, равной частоте питающего напряжения.

Учитывая, что при работе ЭМП в различных жидкостях сопротивление движению активатора будет изменяться, возникает необходимость регулировать частоту питающего напряжения, для обеспечения резонансного режима. Регулирование частоты питающего напряжения можно осуществлять с помощью преобразователя частоты.

Важным моментом при настройке работы МВО является обеспечение колебаний активатора в пределах вставленного начального зазора между активатором и стенкой МВО. При недостаточной амплитуде колебаний активатора количество жидкости, образующей поток, не будет соответствовать максимально возможной. При амплитуде колебаний активатора больше, чем выставленный начальный зазор, активатор будет стучать по стенке МВО, что может привести к её разрушению и нарушению герметичности корпуса.

Имеющаяся технологическая оснастка, которая была изготовлена при производстве промышленного образца вибратора типа ВЭМА-0,3, позволяет её использовать и для разработки МВО устройства для установки по переработке нефти.

Разработанный МВО имеет габаритные и конструктивные размеры, приведены на рисунке 2.2 и в таблице 2.1.

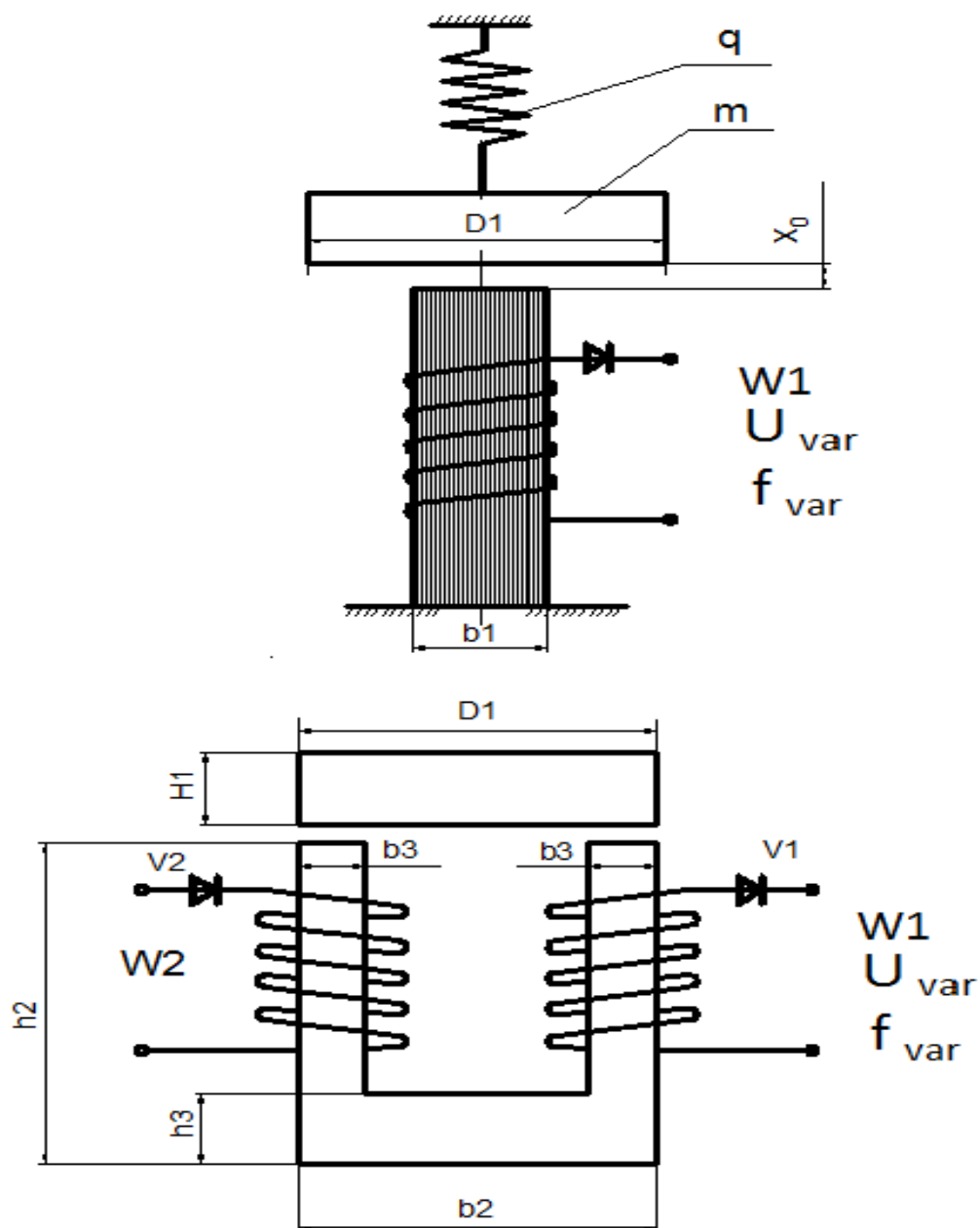


Рисунок 2.2 Расчётная схема единичного МВО

Электромагнит жёстко связан с корпусом устройства, поэтому в данной конструкции колебания совершает активатор, являющийся якорем электромагнита, геометрические параметры якоря, а также активатора идентичны по этому указываем в таблице 2.1 параметры для одного элемента МВО.

Таблица 2.1 – Основные размеры МВО

Параметр	Обозначение	Величина
Диаметр активатора, м	D1	0,15
Высота (толщина) активатора, м	H1	0,03
Высота стержня индуктора магнитопровода, м	h2	0,06
Длина спинки индуктора магнитопровода, м	b2	0,146
Ширина индуктора магнитопровода (полюса), м	b1	0,045
Ширина стержня индуктора (полюса), м	b3	0,02
Толщина спинки индуктора магнитопровода, м	h2	0,03
Величина начального воздушного зазора, м	X ₀	0,005
Частота собственных колебаний системы, Гц	f ₀	59
Резонансная частота в жидкости, Гц	f _{рж}	51

2.3 Производительности активации (обработки) МВО

Объём пространства активации жидкости определяется размерами и амплитудой колебаний активатора, что поясняется рисунком 2.3. При каждом движении активатора по направлению к стенке электромагнитного преобразователя (ЭМП) объём жидкости, находящейся в пространстве активации **CDEFGHIK**, проходит через специальные отверстия в активаторе, образуя затопленные струи. Затопленные струи образуются за счёт различия значений гидравлического сопротивления при движении активатора в прямом и обратном направлениях, обусловленного трапециидальной формой щели в активаторе.

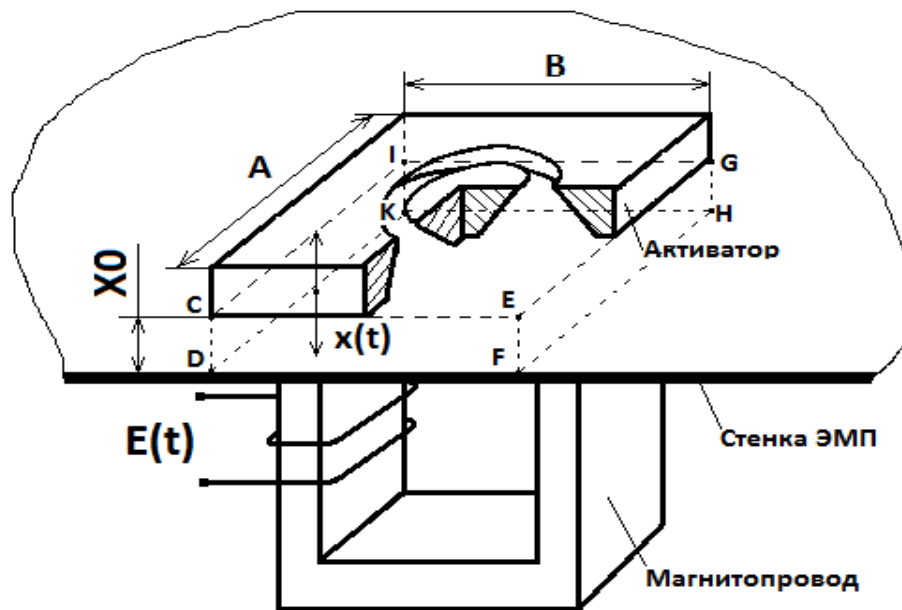


Рисунок 2.3 Принцип активации жидкости резонансным ЭМП

Расход жидкости единичного МВО, формирующийся затопленными струями и проходящий через щель в активаторе Q с размерностью $\text{м}^3/\text{с}$, в этом случае можно определить как

$$Q = S_{\text{захв}} \cdot x \cdot f, \quad (2.2)$$

где: $S_{\text{захв}}$ – площадь захвата, являющаяся частью площади основания активатора;

f – частота колебаний активатора.

$S_{\text{захв}}$ – площадь захвата рассчитывается по формуле

$$S_{\text{захв}} = k \cdot S_{\text{осн}}, \quad (2.3)$$

где: $S_{\text{осн}}$ – площадь основания активатора $S_{\text{осн}} = A \cdot B$;

k – коэффициент захвата.

Коэффициент k учитывает то обстоятельство, что не вся жидкость, находящаяся в объёме пространства активации, участвует в образовании затопленных струй. Часть жидкости, находящаяся по периферии основания активатора при движении активатора к стенке ЭМП будет двигаться в обратном направлении потока жидкости, поэтому коэффициент k меньше

единицы и определяется отношением площади основания конуса, формирующего сопло активатора, к площади основания активатора. Для активатора круглой формы можно принять $k=1,0$.

Выполнение оборудования ВСМА с числом активаторов N , что решается конструктивно достаточно просто, приводит к увеличению суммарного объёма, проходящего через щели в N активаторах. Тогда общий расход жидкости Q_N устройства будет определяется как

$$Q_N = Q \cdot N \quad (2.4)$$

Установлено, что процесс образования затопленных струй усиливается за счёт создания нарастающего избыточного давления в зоне активации по мере приближения активатора к стенке ЭМП. Результаты экспериментов позволили вывести закономерность между суммарным объёмом прокачки жидкости N активаторами и их амплитудами колебания

$$Q_{Nx} = Q_N \cdot \left(\frac{x}{X_0}\right)^2, \quad (2.5)$$

где: x – амплитуда колебаний активатора ЭМП;

X_0 – начальный зазор между активатором и стенкой ЭМП.

Объем активации жидкости зависит от формы активаторов, разные формы активатора имеют разные гидравлические сопротивление и площадь захвата, проведем расчет сравнении для двух форм активатора круглой и прямоугольной.

Площадь захвата для круглой формы $S_{захв}$ рассчитывается по формуле

$$S_{захв} = k \cdot S_{осн} = 1 * 0.031 = 0.031 \text{ м}^2 \quad (2.8)$$

где: $S_{осн} = \pi \cdot r_{экв}^2 = 3.14 * 0.1^2 = 0.031 \text{ м}^2$ площадь основания формы

круглого активатора,

$r_{\text{экв}} = 0.1 \text{ м}$ - радиус активатора эквивалентный (определяется из предыдущих материалов).

Расход жидкости, формирующийся затопленными струями активаторов круглой формы Q_{Nx} с размерностью $\text{м}^3/\text{ч}$, в этом случае при максимальной амплитуде колебаний и начальном зазоре между стенкой ЭМП и активатором $X_0 = 0.005 \text{ м}$ можно определить как

$$Q_{Nx} = x \cdot \left(\frac{x}{X_0}\right)^2 \cdot S_{\text{захв}} \cdot f \cdot 3600 = 35.06, \text{ м}^3/\text{час} \quad (2.9)$$

Экспериментальными исследованиями устройств ВСМА установлено, однократное прохождение обрабатываемой жидкости через зону активации не обеспечивает соответствующий уровень изменения (приобретения) требуемых свойств жидкости. Для различных технологических процессов и жидкостей с определёнными исходными свойствами должны быть установлены минимальные значения количества циклов прохождения через зону активации K . Для проектируемого устройства ВСМА количество таких циклов должно быть не менее 20. Тогда производительность активации установки можно определить

$$S_{\text{акт}} = \frac{Q_{Nx}}{K} = \frac{35.06}{20} = 1.753, \text{ м}^3/\text{час} \quad (2.10)$$

По данному значению производительности активации, учитывая требование обеспечения производительности всего устройства не менее 2,5 (определяется в задании) $\text{м}^3/\text{час}$, можно определить необходимое количество МВО. Расчёты показывают, что для обеспечения заданной в работе производительности устройства для установки по переработке нефти необходимо использовать не менее 2 МВО.

2.4 Расчет подвеса

Выбирается пружина с жесткостью не менее $C = 7.372 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$. На рисунке 2.5 представлен чертеж пружины.

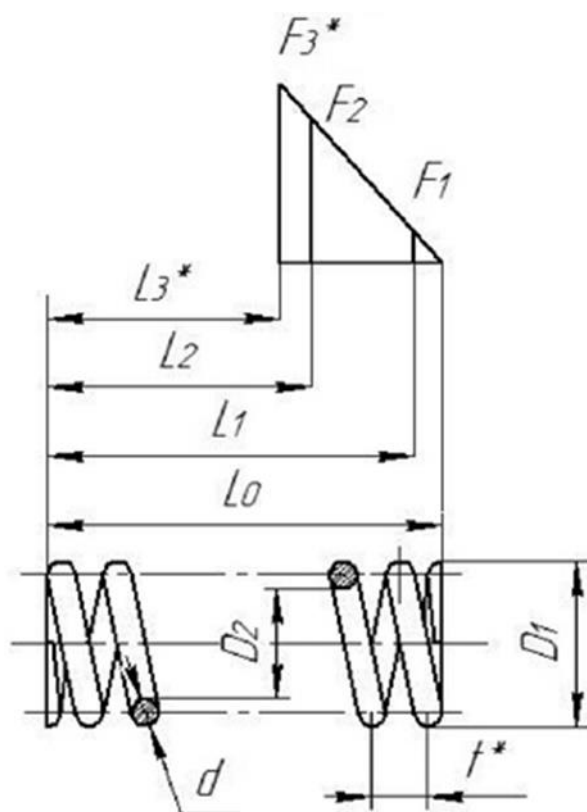


Рисунок 1.5 – чертеж пружины

Таблица 2.3 – Параметры пружины

Материал	Проволока класса I
Диаметр проволоки (прутка) d	8 мм
Наружный диаметр D_1	25 мм
Длина пружины без нагрузки L_0	26 мм
Рабочее число витков n	2
Контрольная (предварительная) длина L_1	20 мм
Контрольная (рабочая) длина L_2	19 мм
Внутренний диаметр D_2	9 мм
Длина при соприкосновении витков L_3	28 мм

Предварительная нагрузка F_1	8178.41 Н
Рабочая нагрузка F_2	10852.82 Н
Максимальная нагрузка F_3	Н
Жёсткость пружины C	$7.52 \cdot 10^5$ Н/м
Шаг t	4.5 мм
Масса пружины m	0.8582 кг

2.5 Определение обмоточных данных катушек электромагнитного привода.

Обмоточные данные это количество витков в обмотке и диаметр обмоточного провода. Эти данные получаем, исходя из размеров магнитопровода. Обмотка размещается в окне магнитопровода. Полное сечение окна магнитопровода равно:

$$S_{\text{окна}} = (b_2 - 2 \cdot b_3) \cdot (h_2 - h_3) = (0.149 - 2 \cdot 0.025) \cdot (0.033 - 0.009) = 0.0024 \text{ м}^2. \quad (2.4.1)$$

Выбирая определённый диаметр обмоточного провода можно подсчитать какое количество витков обмотки можно разместить в окне магнитопровода:

$$N_o = \frac{S_{\text{окна}}}{\pi \cdot R^2} \cdot k_z = \frac{0.0024}{3.14 \cdot 0.0005^2} \cdot 0.7 = 1943, \quad (2.4.2)$$

где N_0 – количество витков обмотки;

R – радиус обмоточного провода, м;

k_z – коэффициент заполнения, 0,6-0,7.

Из технологических соображений рекомендуется выполнять две обмотку, тогда количество витков одной обмотки будет равно $N=535$.

Произведём расчет активного сопротивления катушек.

Находится средняя длина одного витка катушки :

$$l_{\text{cp}} = \frac{2(B_1+B_3+4\cdot B)+2(B_1+B_3)}{2}, \text{ где } B \text{ является толщиной катушки.} \quad (2.4.3)$$

$$B = \frac{B_2-2\cdot B_3-0.002}{2} = \frac{0.149-2\cdot 0.025-0.002}{2} = 0.049 \text{ м} \quad (2.4.4)$$

$$l_{\text{cp}} = \frac{2(0.05 + 0.025 + 4 \cdot 0.049) + 2(0.05 + 0.025)}{2} = 0.348 \text{ м.}$$

Находится электрическое сопротивление катушки:

$$R_{\text{к}} = \rho \frac{l_{\text{cp}} \cdot N}{S}, \text{ где} \quad (2.4.5)$$

ρ - удельное сопротивление меди, $\rho = 0.0175 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

S – площадь сечения обмоточного провода, $S = 0.785 \text{ мм}^2$.

$$R_{\text{к}} = 0.0175 \frac{0.348 \cdot 1943}{0.785} = 15.07 \text{ Ом.}$$

ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ

3.1 Электрическая схема замещения контуров установки

Электрическая схема представляет собой главный и два короткозамкнутых (КЗ) контура. Основной электрический контур включает в себя электромагнит (индуктивности $L1$ и $L2$, активные сопротивления катушек $R1$ и $R2$, и диод VD). Энергия распространения колебаний в пространстве, как известно, зависит от частоты возмущений. Причём, чем выше частота, тем меньше радиус распространения энергии колебаний в среде. При подаче на электромагнит частоты промышленной сети 50 Гц, возмущающая сила будет изменяться с частотой в два раза выше – 100 Гц. Использование диода VD позволило обеспечить частоту возмущающей силы 50 Гц при частоте питающего напряжения 50 Гц.

Короткозамкнутый контур, создаваемый конструктивными элементами пластин, на схеме замещения представлен индуктивностью L_{K3} и активным сопротивлением R_{K3} .

Так как КЗ контуры идентичны друг другу, учтем влияние на катушки только одного КЗ контура. Расчетная схема замещения электрической части ЭМП представлена на рисунке 3.1.

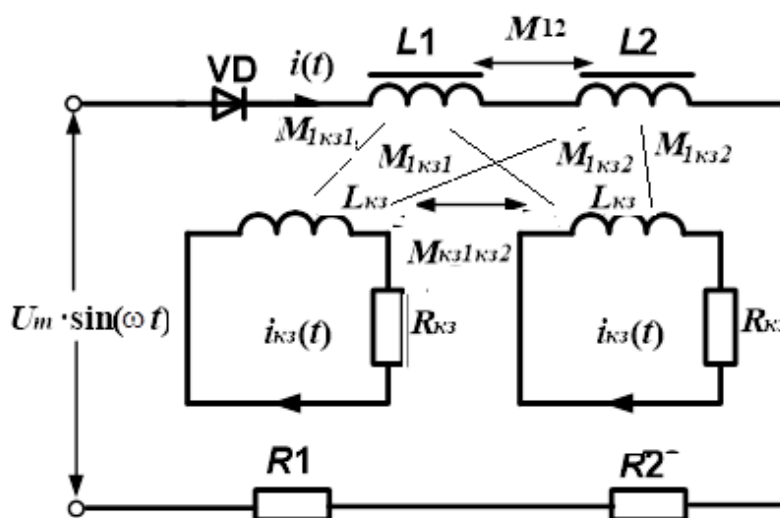


Рисунок 3.1 – Схема замещения электрической части установки

Рисунок 3.1- включает в себя следующие элементы

- L_1, L_2 – индуктивности катушек;
- R_1, R_2 – активные сопротивления катушек;
- M_{12} – взаимная индуктивность между катушками;
- $L_{кз}, R_{кз}$ – индуктивность и активное сопротивление короткозамкнутого контура соответственно;

$M_{кз}$ – взаимная индуктивность короткозамкнутого контура;

Определим параметры электрической системы ЭМП.

Активные сопротивления катушек :

$$R_1 = R_2 = R_k = 15.07 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление КЗ контура принимаем:

$$R_{кз} = \rho_{кз} \cdot \frac{l_{кз}}{S_{кз}} = 0.0002 \text{ Ом,}$$

где $\rho_{кз} = 0.047 \text{ Ом}^{-1}$ – проводимость короткозамкнутого витка,

$l_{кз} = 0.086 \text{ м}$ – длина короткозамкнутого витка,

$S_{кз} = 20 \text{ мм}^2$ - сечение короткозамкнутого витка.

Индуктивности катушек:

$$\begin{aligned} L_1 = L_2 = L_k &= k \cdot \frac{\mu_{ст.} \cdot \mu_0 \cdot S \cdot N^2}{l + \delta_{\Sigma} \cdot \frac{\mu_{ст.}}{\sigma}} = \\ &= 1 \cdot \frac{5000 \cdot 1,26 \cdot 10^{-7} \cdot 450 \cdot 10^{-6} \cdot 535^2}{0,187 + 5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{5000}{1,5}} = 0.091 \text{ Гн,} \end{aligned} \quad (3.1.1)$$

где $N=1943$ – число витков катушки;

$l = 0,274$ м - длина средней линии магнитопровода;

$S = 45 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 900 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ – площадь поперечного сечения сердечника;

$\delta_{\Sigma} = x_0 + 1 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м} + 1 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ - ширина воздушного зазора;

$\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная проницаемость вакуума;

$\mu_{\text{ст}} \approx 5000$ – относительная магнитная проницаемость стали;

$\sigma = 1,5$ - коэффициент рассеивания;

$k=1$ – коэффициент, учитывающий отношение длины намотки к диаметру соленоида ($l / d \gg 10$).

Индуктивность КЗ контура:

$$L_{\text{КЗ}} = \frac{\mu_{\text{ст}} \cdot \mu_0 \cdot S}{l} = 0.0018 \text{ Гн} \quad (3.1.2)$$

Принимаем следующие значения взаимных индуктивностей:

$$M_{12} = \frac{N^2 \cdot \mu_{\text{ст}} \cdot \mu_0 \cdot S}{(\delta_{\Sigma} - x_0) \cdot \mu_{\text{ст}} + l} = 0.0354 \text{ Гн} \quad (3.1.3)$$

$$M_{\text{КЗ}} = \frac{N \cdot \mu_{\text{ст}} \cdot \mu_0 \cdot S}{(\delta_{\Sigma} - x_0) \cdot \mu_{\text{ст}} + \frac{l}{0.5}} = 3.59 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}. \quad (3.1.4)$$

3.2 Механический контур лабораторной установки

Схема замещения механического приведена на Рис. 3.2

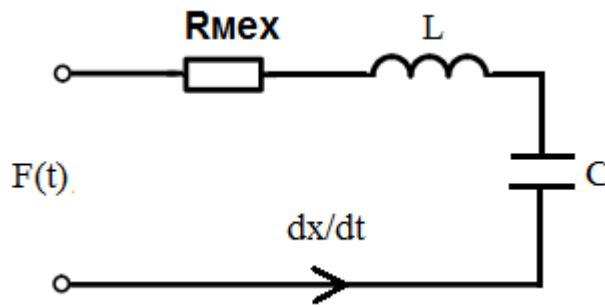


Рисунок 3.2 – Электрическая схема замещения механического контура

где

L – индуктивность,

C – конденсатор,

$R_{мех}$ – механическое сопротивление

Можно провести параллель между уравнениями для электрических и механических контуров:

3.3 Система уравнений установки

Система уравнений работы установки приведенная ниже состоит из уравнений электрических контуров установки и уравнения механического контура. Данные уравнения должны быть преобразованы в удобный вид для их решения численными методами.

3.3.1 Уравнения для электрических контуров

Уравнение для основного контура определяется по формуле

$$U_m \sin \omega t = i_o \cdot R_k + \frac{d\psi_{\Sigma}}{dt} , \quad (3.3.1)$$

где: ψ_{Σ} - суммарное потокоцепление катушек $L1, L2$

i_o - ток протекающий в основном контуре;

R_k - Активное сопротивление основного контура.

Ψ_Σ - суммарное потокосцепление, будет, имеет вид:

$$\Psi_\Sigma = \Psi_1 + \Psi_2,$$

Ψ_1 - суммарное потокосцепление катушки **L1**, представляющее собой сумму потокосцеплений данной катушки, определяемую собственной индуктивностью и всеми возможными взаимоиנדуктивными связями.

Ψ_2 - суммарное потокосцепление катушки **L2**, представляющее собой сумму потокосцеплений данной катушки, определяемую собственной индуктивностью и всеми возможными взаимоиנדуктивными связями.

Ψ_1 суммарное потокосцепление катушки **L1** определяется как:

$$\Psi_1 = \Psi_{\text{соб.инд1}} + \Psi_{\text{в.инд1}} + \Psi_{\text{в.инд.K1}}, \quad (3.3.2)$$

где:

$\Psi_{\text{соб.инд1}} = i_o \cdot L_1$, - собственное потокосцепление катушки **L1**;

$\Psi_{\text{в.инд1}} = i_o \cdot M_{12}$, - потокосцепление катушки **L1** с катушкой **L2**;

$\Psi_{\text{в.инд.K}} = i_{k3} \cdot M_{1k31}$ - потокосцепление с короткозамкнутым контуром;

Ψ_2 - суммарное потокосцепление катушки **L2** определяется как:

$$\Psi_2 = \Psi_{\text{соб.инд2}} + \Psi_{\text{в.инд2}} + \Psi_{\text{в.инд.K2}}, \quad (3.3.3)$$

где:

$\Psi_{\text{соб.инд2}} = i_o \cdot L_2$, - собственное потокосцепление катушки **L2**;

$\Psi_{\text{в.инд}1} = i_o \cdot M_{12}$, - взаимное потокоcцепление катушек L_1, L_2 ;

$\Psi_{\text{в.инд}K} = i_{K3} \cdot M_{1K32}$, - взаимное потокоcцепление катушек с короткозамкнутым контуром;

Перепишем уравнение 3.3.1

$$U_m \sin \omega t = i_o \cdot R_\kappa + \frac{d\psi_1}{dt} + \frac{d\psi_2}{dt}, \quad (3.3.4)$$

где: потокоcцепление ψ_1, ψ_2 будут равны:

$$\frac{d\psi_1}{dt} = \frac{\Psi_{\text{соб.инд}1}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд}1}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд}K1}}{dt} = \frac{i_o \cdot L_1}{dt} + \frac{i_o \cdot M_{12}}{dt} + \frac{i_o \cdot M_{1K31}}{dt}, \quad (3.3.5)$$

$$\frac{d\psi_2}{dt} = \frac{\Psi_{\text{соб.инд}2}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд}2}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд}K2}}{dt} = \frac{i_o \cdot L_2}{dt} + \frac{i_o \cdot M_{12}}{dt} + \frac{i_o \cdot M_{1K32}}{dt}, \quad (3.3.6)$$

Используя выражение получим общую расчетную формулу:

$$\begin{aligned} Um \cdot \sin(\omega t) = & i_o \cdot R_\kappa + \\ & + i_o \left(\frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1K31}}{dt} + \frac{M_{1K32}}{dt} \right) + \\ & + \frac{di_o}{dt} (L_1 + L_2 + M_{12} + M_{21} + M_{1K31} + M_{1K32}); \end{aligned} \quad (3.3.7)$$

Упростим уравнение, заменив дифференциал произведение на суммы двух дифференциалов:

$$\begin{aligned} Um \cdot \sin(\omega t) = & Um \cdot \sin(\omega t) - i_o \cdot R_\kappa - \\ & - i_o \cdot (L_1 + L_2 + M_{12} + M_{21} + M_{K31-1} + M_{K32-1} + M_{K32-2} + M_{K31-2}) = \\ = & \frac{di_o}{dt} \left(\frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1K31}}{dt} + \frac{M_{1K32}}{dt} \right); \end{aligned} \quad (3.3.8)$$

Сгруппируем однородные члены выражения для составления системы уравнений основного контура.

$$\frac{di_o}{dt} = \frac{Um \cdot \sin(\omega t) - 2i_o \cdot R_k - i_o \left(\frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1k31}}{dt} + \frac{M_{1k32}}{dt} \right)}{L_1 + L_2 + M_{12}}, \quad (3.3.9)$$

Уравнение для короткозамкнутого контура:

$$0 = i_{k3} \cdot R_{k3} + \frac{d\psi_{k31}}{dt}, \quad (3.3.10)$$

Где: ψ_{k3} - потокосцепление короткозамкнутого контура, представляющий собой суммарный магнитный поток, сцепляющийся со всеми витками катушки индуктивности и взаимноиндуктивности короткозамкнутого контура.

Произведем для короткозамкнутого контура операции преобразования как для основного контура и получим окончательный вид :

$$\frac{i_{k3}}{dt} = \frac{-i_{k3} \cdot R_{k3} - i_{k3} \left(\frac{L_{k3}}{dt} + \frac{M_{k31k32}}{dt} + \frac{M_{1k31}}{dt} + \frac{M_{1k32}}{dt} \right)}{L_{k3}}. \quad (3.3.11)$$

3.3.2 Алгоритм расчёта системы дифференциальных уравнений

Система уравнений, состоящая из основного контура, короткозамкнутого контура, уравнения механического контура и скорости амплитуды, не может быть решена аналитическими методами, поэтому для расчёта режимов работы виброактиватора выше приведенные системы уравнений рассчитаем численными методами Рунге-Кутты четвертого порядка, составим алгоритм расчета системы. Метод Рунге-Кутты обладает большой точностью. Метод Эйлера, или метод касательных, не столь точен. Этот метод очень удобен для практических вычислений.[7]

Система расчета состоит из итерационного определения четырех коэффициентов K, M, S, C:

$$K(t, l, l_k, x, y) := \frac{k1(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot k2(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot k3(t, l, l_k, x, y) + k4(t, l, l_k, x, y)}{6}$$

$$M(t, l, l_k, x, y) := \frac{m1(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot m2(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot m3(t, l, l_k, x, y) + m4(t, l, l_k, x, y)}{6}$$

$$S(t, l, l_k, x, y) := \frac{s1(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot s2(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot s3(t, l, l_k, x, y) + s4(t, l, l_k, x, y)}{6}$$

$$C(t, l, l_k, x, y) := \frac{c1(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot c2(t, l, l_k, x, y) + 2 \cdot c3(t, l, l_k, x, y) + c4(t, l, l_k, x, y)}{6}$$

Алгоритм расчетов будем, производит, учитывая соответствующие коэффициентами, во времени. Матрица для алгоритма расчета выглядит

$$\begin{pmatrix} t_{i+1} \\ l_{i+1} \\ l_{k_{i+1}} \\ y_{i+1} \\ x_{i+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} t_i + h \\ \text{if}(l_i + K(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \geq 0, l_i + K(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i), 0) \\ l_{k_i} + M(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \\ y_i + S(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \\ \text{if}(x_i + C(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \geq X0, X0, x_i + C(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i)) \end{pmatrix}$$

Первый ряд матрицы задаёт время расчёта с определённым шагом t_i+h . Второй ряд матрицы, рассчитывает ток I_i в основном контуре, учитывает наличие диода, третий ряд учитывает ток I_{k_i} в короткозамкнутом витке, четвертый ряд учитывает скорость движения активатора, пятый ряд учитывает смещение активатора относительно средней точки.

ГЛАВА 4. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВИБРОАКТИВАТОРА

Амплитуда колебаний активатора, которую можно определить из общего уравнения движения (2.5) ЭМП, зависит от возмущающей силы и механического сопротивления движению активатора.

$$M_{\Sigma} \frac{d^2x}{dt^2} + R_m \frac{dx}{dt} + qx = F(t) , \quad (2.6)$$

где: M_{Σ} – колебательная масса,

R_m – механическое сопротивление,

q – жесткость,

$F(t)$ – возмущающая сила.

Амплитуда механического сопротивления при колебаниях активатора в жидкости не является величиной постоянной, а зависит от скорости колебаний активатора. Чем выше скорость колебаний активатора, тем выше вероятность появления турбулентности, сопровождаемой возрастанием механического сопротивления движению активатора. Значение механического сопротивления колебаниям активатора в жидкости при ламинарном процессе обозначим R_{m0} . Для вязких нефтепродуктов R_{m0} соответствует сопротивлению установившегося разжиженного состояния, значения которого для исследованных нефтепродуктов изменяется от 80 кг/с и выше.

Определённое влияние на турбулентность течения жидкости вблизи колеблющегося активатора имеет форма его основания. Указанное обстоятельство ведёт к увеличению значения R_{m0} , которое можно учесть коэффициентом формы активатора λ_{ϕ} . Наименьшее значение $\lambda_{\phi}=1,3$, как было установлено в результате экспериментов, соответствует активатору круглой формы. Для активатора квадратной (прямоугольной формы) данный коэффициент равен 1,7.

Отмеченные закономерности изменений сопротивления представим в виде

$$R_m(v) = R_{m0} \cdot \lambda_\phi \cdot e^{\frac{v}{V}} , \quad (2.7)$$

где: v – скорость колебаний активатора в жидкости;

R_{m0} – сопротивление движению активатора при ламинарном процессе;

λ_ϕ – коэффициент формы;

V – скорость активатора, при которой проявляется влияние турбулентности.

4.1 Частотные характеристики при изменении частоты питающего напряжения и механического сопротивления

Соблюдая условие не превышения допустимой плотности тока в проводнике катушек, необходимо при уменьшении частоты снижать и величину питающего напряжения, соблюдая постоянство соотношения амплитуды и частоты питающего напряжения $U/f = \text{const}$.

Произведем расчет частотных характеристик на математической модели для нефти. Расчёт будем производить с постоянным начальным зазором $X_0 = 0,006$ мм, собственной частотой системы $f_0 = 70$ Гц, и изменениями следующих параметров работы виброактиватора и жидкости:

U – амплитуда питающего напряжения, В;

f – частота питающего напряжения, Гц;

R_{m0} – механическое сопротивление, кг/с;

Построим характеристики зависимости основных параметров МВО в зависимости от времени:

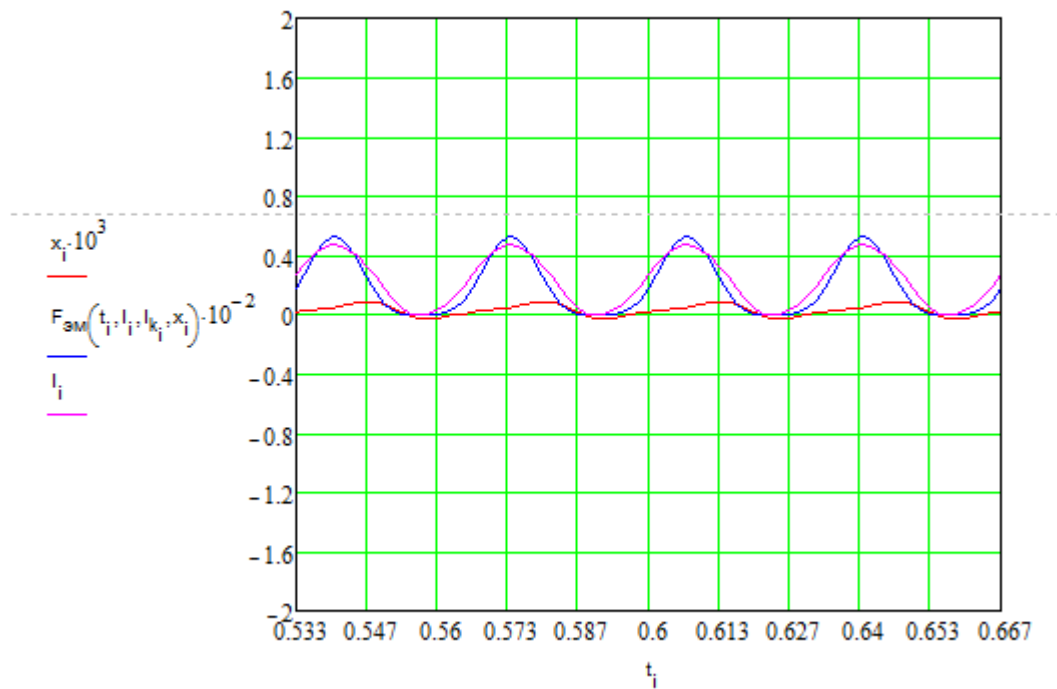


Рисунок 4.1.1 – График частотных характеристик при $f=50 \text{ Гц}$,
 $U=250\text{В}$, $Rm=1700 \text{ кг/с}$.

Как видно из рисунка 4.2, амплитуда колебаний активатора составляет 7,4мм при этом величина тока протекающего в основной катушке равна 0,59А.

Произведем расчеты по математической модели при диапазоне значений частоты питающего напряжения $f=30...70 \text{ Гц}$, с шагом 5 Гц , и значениях механического сопротивления $Rm_0=850, 1700, 2550, 3400 \text{ кг/с}$, и занесем полученные данные в таблицу.

Полученные данные расчетов частотных характеристик сведены в таблицах 4.1.1...4.1.5

Таблица 4.1.1 – Данные расчетов при механическом сопротивлении $Rm_0=850 \text{ кг/с}$.

$f, \text{Гц}$	30	35	40	45	50	55	60	65	70
$U, \text{В}$	150	175	200	225	250	275	300	325	350
$\Delta x, \text{мм}$	1,7	1,66	2,3	3,8	4,4	2,3	1,49	1,16	1,0
$I_d, \text{А}$	0.28	0.285	0.28	0.29	0.29	0.28	0.29	0.29	0.288
$I_{кз}, \text{А}$	4.78	4.94	5.14	5.8	6.8	5.21	4.99	4.93	4.91
$V, \text{м}^3/\text{час}$	0.2	5.02	1.496	4.5	5.7	1.5	6.5	3.29	2.2

На основе данных, полученных при расчете математической модели, построим график частотных характеристик:

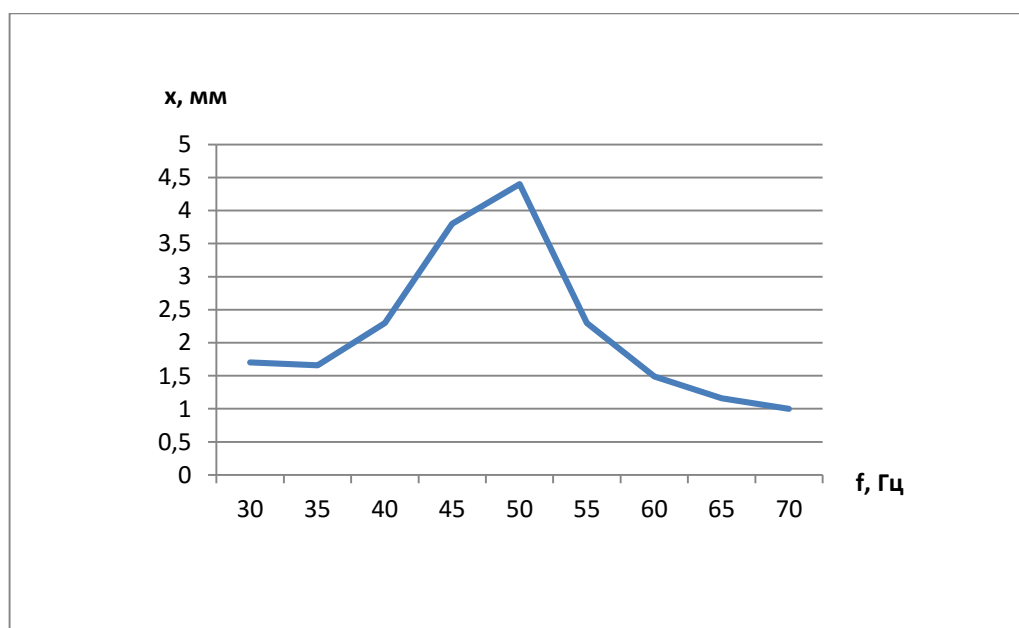


Рисунок 4.1.2 – График зависимости амплитуды колебаний активатора от частоты питающего напряжения при $Rm=850 \text{ кг/с}$.

Из графика видно, что максимальная амплитуда колебаний активатора достигается при частоте $f=50 \text{ Гц}$, так же, согласно таблице 4.1.1, величина максимального тока в катушках составляет $I_{max}=0,29 \text{ А}$.

Аналогично производится расчет при значениях механического сопротивления $Rm_0=1700 \text{ кг/с}$, и полученные данные заносятся в таблицу 4.1.2.

Таблица 4.1.2 – Данные расчетов при механическом сопротивлении $Rm=1700 \text{ кг/с}$:

f, Гц	30	35	40	45	50	55	60	65	70
U, В	150	175	200	225	250	275	300	325	350
Δx , мм	1,29	1,36	1,4	1,46	1,38	1,23	1,088	0,985	0,915
I_d , А	0,284	0,286	0,287	0,287	0,289	0,289	0,289	0,289	0,29
$I_{кз}$, А	4,831	5,05	5,1	5,27	5,29	5,18	5,09	5,03	4,98
V, м ³ /час	1,44	1,54	1,92	2,23	2,01	1,53	1,14	0,95	0,8

На основе полученных данных, на математической модели, построим график частотных характеристик:

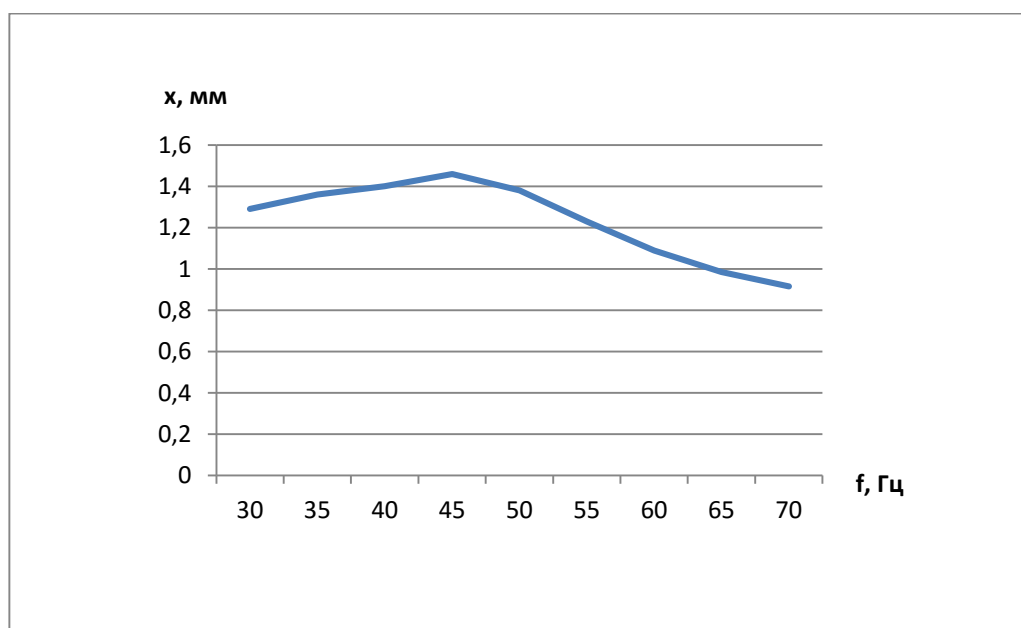


Рисунок 4.1.3 – График зависимости амплитуды колебаний активатора от частоты питающего напряжения при $Rm=1700 \text{ кг/с}$.

Из графика видно, что максимальная амплитуда колебаний активатора достигается при частотах $f=45$, так же, согласно таблице 4.1.2, величина максимального тока в катушках составляет $I_{max}=0,29 \text{ А}$.

Аналогично производится расчет при значениях механического сопротивления $Rm_0=2550 \text{ кг/с}$, и полученные данные заносятся в таблицу 4.1.3.

Таблица 4.1.3 – Данные расчетов при механическом сопротивлении $Rm=2550 \text{ кг/с}$:

f, Гц	30	35	40	45	50	55	60	65	70
U, В	150	175	200	225	250	275	300	325	350
Δx , мм	1,1	1,09	1,07	1,04	9,93	9,4	9,0	8,7	8,44
I_d , А	0,285	0,286	0,287	0,288	0,288	0,289	0,289	0,289	0,29
$I_{кз}$, А	4,8	5,01	5,08	5,1	5,09	5,07	5,04	5,01	4,99
V, м ³ /час	6,7	7,0	7,13	6,6	6,01	5,37	4,74	4,39	3,97

На основе полученных данных, на математической модели, построим график частотных характеристик:

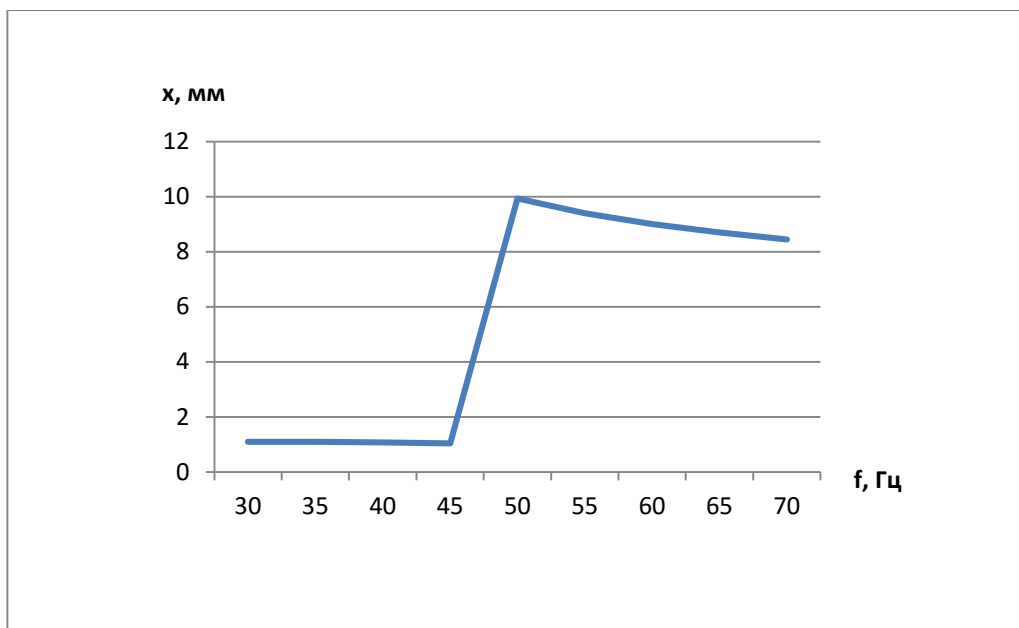


Рисунок 4.1.4 – График зависимости амплитуды колебаний активатора от частоты питающего напряжения при $Rm=2550 \text{ кг/с}$.

Из графика видно, что максимальная амплитуда колебаний активатора достигается при частоте $f=50 \text{ Гц}$, так же, согласно таблице 4.1.3, величина максимального тока в катушках составляет $I_{max}=0,29 \text{ А}$.

Аналогично производится расчет при значениях механического сопротивления $Rm_0=3400 \text{ кг/с}$, и полученные данные заносятся в таблицу 4.1.4.

Таблица 4.1.4 – Данные расчетов при механическом сопротивлении $Rm=3400 \text{ кг/с}$:

f, Гц	30	35	40	45	50	55	60	65	70
U, В	150	175	200	225	250	275	300	325	350
Δx , мм	7,3	7,4	8,2	8,99	8,73	8,51	8,33	8,1	8,07
I_d , А	0,28	0,286	0,287	1,04	0,288	0,288	0,29	0,29	0,3
$I_{кз}$, А	4,83	4,96	5,02	8,03	5,04	5,02	5,01	4,99	5
V, м ³ /час	3,8	3,7	3,66	3,4	3,23	3,02	2,7	2,5	2,44

На основе полученных данных, на математической модели, построим график частотных характеристик:

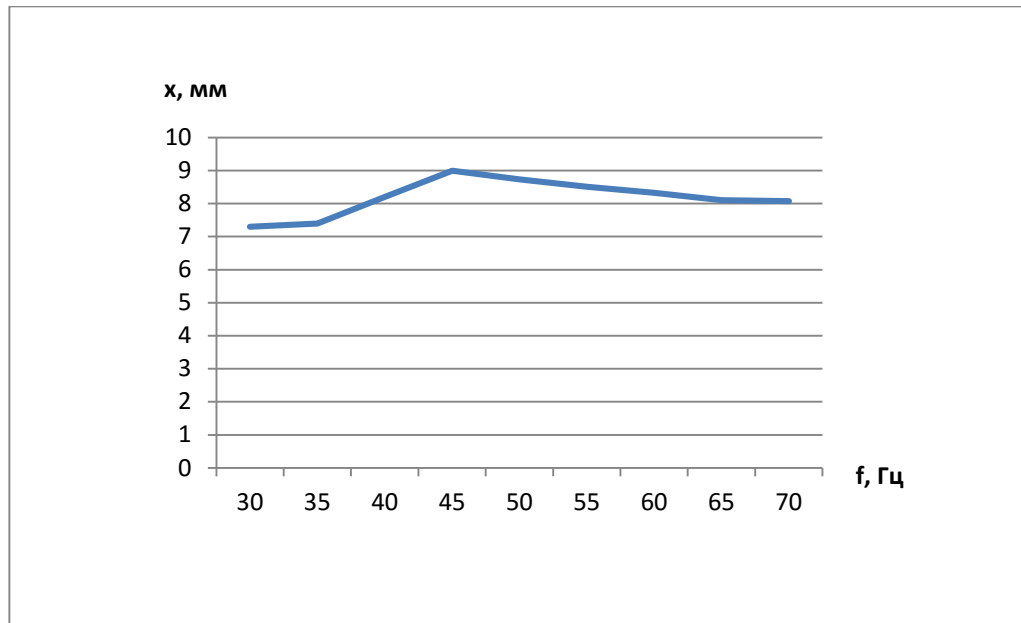


Рисунок 4.1.5 – График зависимости амплитуды колебаний активатора от частоты питающего напряжения при $Rm=3400 \text{ кг/с}$.

Из графика видно, что максимальная амплитуда колебаний активатора достигается при частоте $f=45 \text{ Гц}$, так же, согласно таблице 4.1.4, величина максимального тока в катушках составляет $I_{max}=1,04 \text{ А}$.

ГЛАВА 5. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ

5.1 Схема подключение виброактиватора

Основными элементами схемы подключение виброактиватора являются сам виброактиватор, преобразователь частоты и блок питания, который должен включать в себя диод, автоматический выключатель. Общая схема подключение виброактиватора к электрической сети приведена на рис. 5.1.1

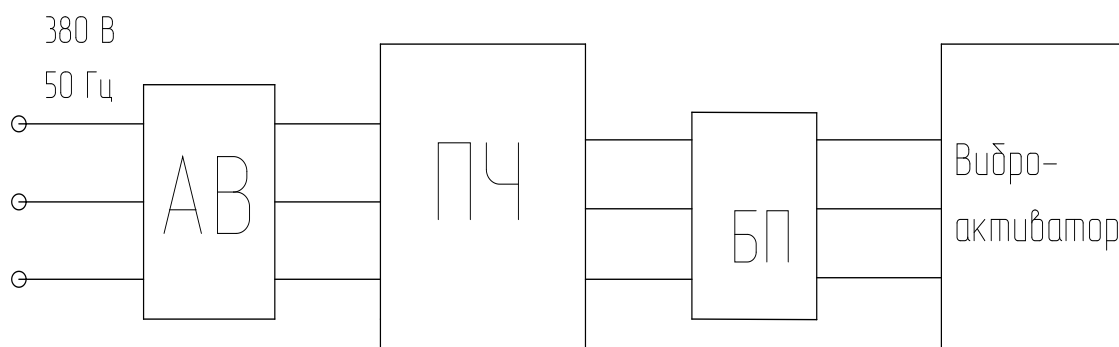


Рисунок 5.1.1 - Общая схема подключения виброактиватора

5.2 Выбор преобразовательного устройства для системы

Выбор частотного преобразователя и автоматического выключателя осуществляется по данным, полученным в результате расчёта режимов работы виброактиватора на математической модели. Исходными данными для этого являются величина тока, напряжение, подаваемое на обмотки виброактиватора и частота напряжения.

Максимальный ток единичного МВО:

$$I_{ед.МВО} = I_{max} \cdot k_z = 1,04 \cdot 1,1 = 1,15 \text{ А}, \quad (5.2.1)$$

где:

I_{max} - максимальный ток, протекающий в катушке;

k_z - коэффициент запаса примем равным 1,1;

С учетом того, что виброактиватор содержит 2 МВО, то:

$$I_{ф max} = I_{ед.МВО} \cdot N = 1,15 \cdot 2 = 2,3 \text{ А},$$

где:

N – Количество МВО запитанных от одной фазы;

Диапазон напряжений, который необходимо обеспечить для регулирования режимов работы виброактиватора, составляет от 150 до 350 В.

Для обеспечения резонансного режима работы обработки виброактиватором необходимо менять частоту питающего напряжения в диапазоне от 30 до 70Гц.

По рассчитанным данным выбираем преобразователь частоты марки **MCI-G0.75-4B**. Данный преобразователь дает возможность равномерно и экономично регулировать производительность путем изменения частоты. Внешний вид и характеристики частотного преобразователя приведены на рисунке 5.2.1 и таблице 5.2.1 [4].



Рисунок 5.2.1 – Внешний вид преобразователя **MCI-G0.75-4B**.

Таблица 5.2.1 - Характеристики частотного преобразователя

Наименование параметра	Величина
Максимальная выходная мощность ПЧ, кВт	0,75
Максимальный ток нагрузки, А	2,3

Номинальное напряжение на входе, В	380 (+10%-15%)
Диапазон регулирования напряжения, В	От 3 до 380
Частота питающей сети, Гц	50/60 $\pm$ 5%
Диапазон регулирования частоты, Гц	1-400
Вес, кг	1,2

5.3 Выбор диода

Для обеспечения работы виброактиватора на частоте 70 Гц выбираем диод марки КД527Б. Характеристики диода:

- $U_{об.мах} = 400$ В.
- $I_{пр.мах} = 3$ А.
- Диапазон рабочих температур $-40 \dots +85$ С°
- Гарантийная наработка не менее – 8000 ч.

5.4 Выбор автоматического выключателя

В схеме подключения виброактиватора, как и любого электротехнического устройства, должен быть предусмотрен автоматический выключатель. Исходя их параметров работы виброактиватора для его подключения к промышленной сети выбираем автоматический выключатель типа **RESI9 1P 10A**.

Характеристики данного выключателя приведены таблице 5.2.

Таблица 5.4.1 Характеристики выключателя

Количество полюсов	3P
--------------------	----

Номинальный ток:	10 А
Отключающая способность:	4,5 кА
Номинальное напряжение	400 В

5.5 Выбор кабеля сети

Учитывая, что виброактиватор в определённой степени является переносным, он должен быть оборудован кабелем, позволяющим манипулировать устройством в пределах зоны разгрузки. Длина кабеля в этом случае определяется конкретными условиями применения виброактиватора. По условиям применения взрывозащищённого электрооборудования выбираем длину кабеля, равную 20 метров.

Марка кабеля, которая рекомендована для применения в указанных условиях, соответствует КГН 4×1,5 мм².

Выбираем кабель марки КГН (4×1,5) с $I_{доп} = 20$ А. Кабель силовой гибкий с медными многопроволочными жилами с резиновой изоляцией в резиновой маслостойкой оболочке, не распространяющей горение.