

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 99 страниц, 25 рисунков, 29 таблиц, 24 источника.

Ключевые слова: ВСМА, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, АКТИВАТОР, ВЯЗКОСТЬ, ПЛОТНОСТЬ, РЕЗОНАНС.

Цель работы – проектирование лабораторной установки для исследования влияния технологии ВСМА на реологию жидкостей и выбор необходимого оборудования для управления и регулирования параметров работы.

В работе произведены расчёты параметров электромагнита, конструирование модуля виброобработки и на его основе конструирование установки в целом, анализ режимов работы лабораторной установки на математической модели, выбор преобразователя частоты и способов управления лабораторной установкой.

Выбор элементов электропривода осуществлён с учётом результатов анализа режимов работы лабораторной установки при изменении плотности жидкостей, механического сопротивления и собственной частоты колебательной системы.

Расчётные частотные характеристики лабораторной установки получены с помощью программы MATHCAD 15.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010.

ВВЕДЕНИЕ

Жидкость – одно из агрегатных состояний веществ, она занимает как бы промежуточное положение между кристаллическим твердым телом, отличающимся полной упорядоченностью в расположении образующих его частиц (ионов, атомов, молекул) и газом, молекулы которого находятся в состоянии хаотического (беспорядочного) движения. [1].

При нагревании до достаточно высоких температур твердые тела расплавляются и переходят в жидкое состояние. Для кристаллических твердых тел такой переход происходит скачком при вполне определенной для данного вещества температуре, называемой температурой плавления. Вместе с тем, существуют так называемые аморфные твердые тела, которые по своим свойствам мало отличаются от жидкостей, к их числу относятся стекла, различные смолы, пластмассы. По мере повышения температуры они постепенно переходят в жидкое состояние – становятся как бы все более мягкими и приобретают обычную для жидкости способность течь. Их называют иногда переохлажденными жидкостями, поскольку в обычном состоянии такие вещества можно рассматривать как жидкости с аномально большой вязкостью.[24]

При очень низких (по сравнению с комнатной) температурах в жидкое состояние переходит большинство газов. Этот переход также происходит скачком и характеризуется для каждого газа своей определенной температурой перехода – температурой конденсации. Вся так называемая криогенная техника основана на получении и использовании жидкого гелия, жидкого азота и других сжиженных газов.

В отличие от газа, одна из характерных особенностей жидкости заключается в ее способности сохранять свой объем, что проявляется в ее малой сжимаемости. Твердое тело наряду с сохранением объема стремится сохранить также и свою форму. Наиболее важное отличие жидкости от твердого тела заключается в том, что она принимает форму содержащего ее

сосуда, образуя при этом свободную поверхность. Это означает, что жидкость обладает высокой текучестью (или малой вязкостью). Газы из-за беспорядочного характера движения их молекул стремятся заполнить весь предоставленный им объем.

Эти свойства жидкости определяются особенностями межмолекулярного взаимодействия в ней. Известно, что в идеальном газе молекулы большую часть времени проводят в состоянии свободного движения, взаимодействуя между собой лишь в редкие моменты их сближения.

1. СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ

Основным свойством жидкостей является текучесть. Если к участку жидкости, находящейся в равновесии, приложить внешнюю силу, то возникает поток частиц жидкости в том направлении, в котором эта сила приложена: жидкость течёт. Таким образом, под действием неуравновешенных внешних сил жидкость не сохраняет форму и относительное расположение частей, и поэтому принимает форму сосуда, в котором находится. [2]

Одним из характерных свойств жидкости является то, что она имеет определённый объём. Жидкость чрезвычайно трудно сжать механически, поскольку, в отличие от газа, между молекулами очень мало свободного пространства. Давление, производимое на жидкость, заключённую в сосуд, передаётся без изменения в каждую точку объёма этой жидкости. Жидкости обычно увеличивают объём (расширяются) при нагревании и уменьшают объём (сжимаются) при охлаждении. Впрочем, встречаются и исключения, например, вода сжимается при нагревании, при нормальном давлении и температуре от 0 °С до приблизительно 4 °С.

Кроме того, жидкости характеризуются вязкостью. Она определяется, как способность оказывать сопротивление перемещению одной из частей относительно другой — то есть как внутреннее трение. Когда соседние слои жидкости движутся относительно друг друга, неизбежно происходит столкновение молекул дополнительно к тому, которое обусловлено тепловым движением. Возникают силы, затормаживающие упорядоченное движение. При этом кинетическая энергия упорядоченного движения переходит в тепловую — энергию хаотического движения молекул. Жидкость в сосуде, приведённая в движение и предоставленная самой себе, постепенно остановится, но её температура повысится.

Испарение — постепенный переход вещества из жидкости в газообразную фазу (пар). При тепловом движении некоторые молекулы покидают жидкость через её поверхность и переходят в пар. Вместе с тем, часть

молекул переходит обратно из пара в жидкость. Если из жидкости уходит больше молекул, чем приходит, то имеет место испарение.

Конденсация — обратный процесс, переход вещества из газообразного состояния в жидкое. При этом в жидкость переходит из пара больше молекул, чем в пар из жидкости. Испарение и конденсация — неравновесные процессы, они происходят до тех пор, пока не установится локальное равновесие (если установится), причём жидкость может полностью испариться, или же прийти в равновесие со своим паром, когда из жидкости выходит столько же молекул, сколько возвращается.

Кипение — процесс парообразования внутри жидкости. При достаточно высокой температуре давление пара становится выше давления внутри жидкости, и там начинают образовываться пузырьки пара, которые (в условиях земного притяжения) всплывают наверх.

Смачивание — поверхностное явление, возникающее при контакте жидкости с твёрдой поверхностью в присутствии пара, то есть на границах раздела трёх фаз.

Смешиваемость — способность жидкостей растворяться друг в друге. Пример смешиваемых жидкостей: вода и этиловый спирт, пример несмешиваемых: вода и жидкое масло.

При нахождении в сосуде двух смешиваемых жидкостей молекулы в результате теплового движения начинают постепенно проходить через поверхность раздела, и таким образом жидкости постепенно смешиваются. Это явление называется диффузией.

1.1 Обзор существующих методов и технологий изменения реологических свойств жидкостей

Существует множество способов влиять на свойства жидкостей, которые можно разделить по категориям: тепловые, механические, химические.

Тепловой способ заключается в изменении температуры жидкости, благодаря чему она способна изменять свои реологические свойства, но это как правило не всегда приемлемо, т.к. объемы жидкости могут быть велики, и на это может быть потрачено много времени и энергии.

В химическом способе в жидкость добавляются различные присадки, вещества, в взаимодействии с которыми жидкость изменяет свои реологические свойства. Химические реакции происходят не мгновенно и на это может уйти много времени. К тому же производство химических реагентов является достаточно дорогостоящим. Такая технология иногда применяется в нефтедобывающей отрасли для снижения вязкости.

Существуют установки, использующие механическую энергию для изменения реологических свойств жидкостей. Такие установки не занимают большой объем, не требуют больших энергозатрат и обладают достаточной производительностью.

Для ньютоновских жидкостей кривая течения имеет вид прямой, выходящей под углом из начала координат, и описывается уравнением Ньютона:

$$\tau = \mu \cdot \left| \frac{d\omega}{dr} \right|, \quad (1.1)$$

где:

μ - коэффициент пропорциональности, характеризующий угол наклона кривой течения, является динамической вязкостью жидкости.

Для характеристики реологических свойств ньютоновских жидкостей достаточно знать их вязкость, плотность и температуру застывания.

Значительно большее количество жидкостей относится к классу неньютоновских. В него объединены все те жидкости, кривая течения которых отличается от кривых 1 и 5 на рисунке 1.1. [3]

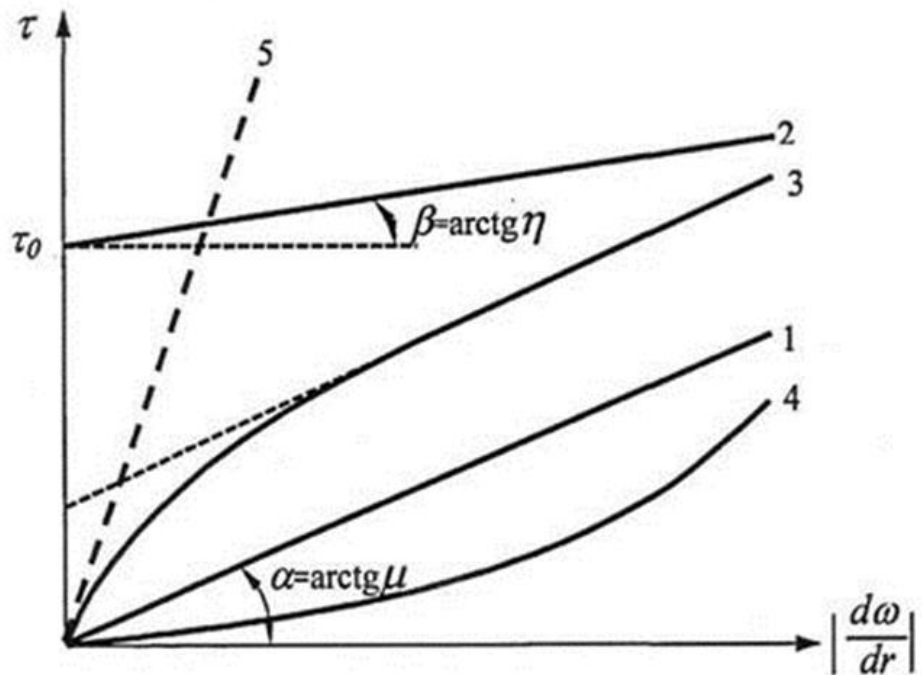


Рисунок 1.1 - Зависимость напряжения сдвига от скорости для различных жидкостей:

- 1,5 – ньютоновские;
- 2 – вязкопластичные (бингамовские);
- 3 – псевдопластичные;
- 4 – дилатантные

Как видно из рисунка 1.1, течение бингамовских жидкостей начинается только после создания определенного напряжения τ_0 , называемого начальным напряжением сдвига. При меньших, чем τ_0 , напряжениях такие жидкости ведут себя, как твердые тела, а при больших – как ньютоновская жидкость, для которой напряжение сдвига равно $\tau - \tau_0$. По характеру кривой течения видно, что для бингамовского пластика зависимость напряжения от скорости сдвига, описывается уравнением:

$$\tau = \tau_0 + \eta \cdot \left| \frac{d\omega}{dr} \right|^k \quad (1.2).$$

Эта зависимость называется уравнением Шведова-Бингама. Здесь η - пластическая вязкость.

Для псевдопластичных и дилатантных жидкостей в широком диапазоне изменения скорости сдвига можно применять степенную зависимость напряжения от скорости сдвига:

$$\tau = k \cdot \left| \frac{d\omega}{dr} \right|^k, \quad (1.3)$$

где коэффициент k называется характеристикой консистентности.

В настоящее время экономика Российской Федерации оказывается крайне зависимой от объемов добычи и экспорта энергоносителей. В таких условиях, особое значение приобретает задача повышения уровня объемов добычи и транспортировки углеводородного сырья. [3]

Однако, в течение последних двух десятилетий в России наблюдается тенденция ухудшения качественно-количественного состояния сырьевой базы нефтяной промышленности. Это происходит за счет изменения структуры и уменьшения запасов нефти, что связано в основном со значительной выработкой многих высокопродуктивных месторождений. Поэтому возникает необходимость ввода в эксплуатацию низкорентабельных мелких месторождений и месторождений с трудноизвлекаемыми запасами. Последние приурочены к залежам, расположенным на больших глубинах, низкопроницаемым коллекторам, а также залежам с высоковязкими нефтями.

Особый интерес представляют ресурсы высоковязких нефтей, которые вследствие особых реологических параметров являются фактически неиспользованными энергетическими ресурсами. Кроме того, высоковязкие нефти обладают уникальным химическим составом и являются ценным сырьем для нефтехимической промышленности.

Ресурсная база балансовых запасов высоковязких нефтей (вязкость более 30 мПа·с) составляет по России 7,2 млрд. т, в то время как общие балансовые запасы нефти составляют 25,2 млрд. т, т.е. запасы высоковязких нефтей составляют 28,6 % от общих.

Как было отмечено ранее все жидкости принято делить на два класса: ньютоновские и неньютоновские. К ньютоновским жидкостям относятся вода, светлые нефтепродукты, нефти с низким содержанием парафина, парафинистые нефти при высокой температуре. Объединяет их в один класс одинаковый вид зависимости напряжения сдвига τ (напряжение сил трения на поверхности соприкосновения слоев жидкости) от градиента скорости по радиусу $\frac{d\omega}{dr}$ (скорости сдвига).

Для характеристики реологических параметров неньютоновских нефтей необходимо дополнительно знать величины начального напряжения сдвига, пластическую вязкость, характеристики консистентности и индекса течения. Во многих случаях бывает целесообразно рассматривать неньютоновскую жидкость как условную ньютоновскую с динамической вязкостью равной эффективной вязкости:

$$\mu_{\text{э}} = \frac{\tau}{|\frac{d\omega}{dr}|} = \frac{\tau_0}{|\frac{d\omega}{dr}|} + k \cdot |\frac{d\omega}{dr}|^{n-1} \quad (1.4).$$

Реологические свойства высоковязких и высокозастывающих нефтей (вязкости, напряжения сдвига, температура застывания), оказывающие непосредственное влияние на процесс их транспортировки по трубопроводам, в существенной степени зависят от компонентного состава.

Кроме трех основных классов углеводородов (парафиновых, нафтеновых и ароматических) практически всегда в нефти содержатся в значительных количествах смолы и асфальтены.

Наличие парафина в нефти приводит при понижении температуры к структурообразованию и проявлению неньютоновских свойств. Кристаллы парафина образуют пространственную структурную сетку коагуляционного типа. Структурная сетка иммобилизует жидкую фазу, и нефть приобретает свойства гелеобразных систем. Дальнейшее понижение температуры приводит к полной потере подвижности - «застыванию» нефти. С увеличением содержания парафина в нефти ее реологические свойства ухудшаются, и

процесс структурообразования смещается в сторону более высоких температур.[23]

Следует отметить, что высоковязкие беспарафинистые нефти остаются ньютоновскими жидкостями в широком диапазоне температур. Высокопарафинистые нефти имеют аномальную вязкость при сравнительно высоких температурах.

Как отмечалось выше, любые нефти, в том числе высокопарафинистые, содержат в своем составе кроме парафинов также смолы и асфальтены, влияние которых на процессы структурообразования и повышения вязкости при понижении температуры различно.

Смолы являются высокополярными поверхностно-активными веществами. Молекулярная масса смол 500-1200 и выше. В смолах содержится основное количество кислородных, сернистых и азотистых соединений нефти. Асфальтены по строению близки к нефтяным смолам, но их молекулярная масса в 2-3 раза выше. Асфальтены представляют собой твердые аморфные вещества темного цвета. Смолы и асфальтены подавляюще действуют на способность парафинов образовывать кристаллические структуры. Действие асфальто-смолистых веществ на процесс кристаллизации парафинов проявляется в том, что они легко адсорбируются на гранях кристаллов и препятствуют их росту. Кроме того, некоторые смолы, имеющие длинные алкильные цепи, характеризуются объемным действием, заключающимся в образовании смешанных кристаллов с парафинами, что вызывает изменение их структуры. Объемное действие объясняется не адсорбцией смол на поверхности кристаллов парафина, а распределением их между двумя фазами, что приводит к разрыхлению кристаллической структуры и изменению строения кристаллов парафина. Т.е. асфальтены и смолы препятствуют структурообразованию при понижении температуры и, таким образом, уменьшают вязкость и температуру застывания. Однако, такое действие асфальтосмолистых веществ проявляется при наличии их в парафинистой

нефти до определенного процента, при превышении которого, вязкость нефти увеличивается за счет увеличения процентного содержания тяжелых компонентов (асфальтосмолистых веществ). Следовательно, асфальтены и смолы, при малом содержании в парафинистой нефти, являются депрессаторами (веществами уменьшающими вязкость, напряжения сдвига и температуру застывания), а при больших концентрациях способствуют увеличению вязкости в любых нефтях (высокопарафинистых либо беспарафинистых).

Учитывая выше изложенные характеристики вязких и высоковязких нефтей, очевидно имеет место задача поиска и разработки методов, технологий и оборудования для эффективного воздействия на такие нефти с целью снижения характеристик вязкости и напряжений сдвига. Данное обстоятельство является актуальным и для других жидкостей, обладающих тиксотропными свойствами.

1.2 Технология ВСМА

В последнее время всё шире находит применение такой вид комплексного физического воздействия как метод виброструйной магнитной активации (ВСМА). Применение таких видов физических воздействий создают условия для достижения предельного уровня разрушения структуры молекулярных кристаллов парафиновых углеводородов и поддержания этого уровня в течение времени, необходимого для осуществления массообменных процессов. Виброструйная магнитная активация с определенной энергией в следствие разрушению кристаллизационных структур может привести к сильному изменению структурно-вязкостных свойств нефти. [4]

Рабочий орган устройств ВСМА, приводимый в движение электромагнитным приводом, совершает колебательные движения в жидкости, которые имеют резонансный характер. Действие рабочего органа устройства ВСМА активатора заключается в следующем: колебательная система —

«упругий элемент-активатор-нефть» имеет собственную резонансную частоту колебаний, при которой все инерционные силы сопротивления компенсируются упругими силами и амплитуда колебаний определяется только потерями на трение жидкости при движении ее относительно активатора. При этом нефть как бы «добровольно» участвует в движении и сама приобретает физико-механические свойства, позволяющие участвовать в движении с минимальными энергозатратами. Энергия, необходимая для создания режима, передается подвижным элементам посредством магнитного поля и поэтому весь объем нефтепродукта подвергается активному омагничиванию. Принцип действия виброструйного магнитного активатора позволяет принудительно прокачивать с высокой сдвиговой скоростью до 10^4 с^{-1} нефть через мощное электромагнитное поле с предельной напряженностью магнитного поля - $2 \cdot 10^6 \text{ А/м}$. В неньютоновских жидкостях при виброструйной магнитной активации рвутся упругие связи, разрушаются кристаллы парафина и при течении обработанная нефть проявляет псевдоньютоновские свойства.

Устройство виброструйной магнитной активации, которое может быть положено в основу лабораторной установки по обработке различных жидкостей, представляет собой резонансный электромагнитный вибратор, предназначенный для работы в жидких средах. Электрическая часть такого устройства полностью изолирована от жидкой среды, а якорь выполнен подпружиненным с коническими соплами. Источник питания выполнен с возможностью регулирования частоты питания вибратора с целью подстройки его в резонанс. Сопла в якоре предназначены для формирования затопленных турбулентных струй с высокими сдвиговыми скоростями. Форма сопел может быть различной.

На Рисунке 1.2 представлены характерные частотные характеристики устройства ВСМА, работающего в жидкости (вода) и в воздухе. Как видно из представленного рисунка амплитуды и резонансные частоты колебаний зависят

от плотности и вязкости среды, поэтому и частотные характеристики существенно отличаются.

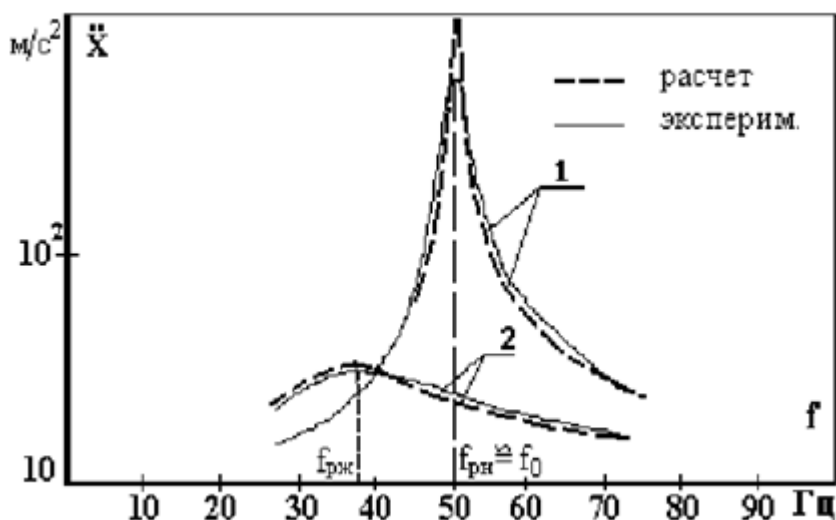


Рисунок 1.2 - Частотные характеристики колебания устройства ВСМА

1 - частотная характеристика колебаний активатора на воздухе,

2- частотная характеристика колебаний активатора в воде

Известны результаты эффективного применения устройств ВСМА на реологические свойства нефтей [4].

Учитывая широкий диапазон возможных значений характеристик вязкости и плотности большого количества жидкостей, практически невозможно определить параметры воздействий оборудования ВСМА как по частоте, так и по интенсивности. Поэтому для выработки практических рекомендаций по обработке различных жидкостей требуется проводить соответственно и большой объем лабораторных исследований.

1.3 Задача проектирования

Таким образом, из материалов анализа существующих методов изменения свойств неньютоновских жидкостей следует сделать вывод, что

технология ВСМА является перспективной и на её базе можно создавать эффективное оборудование для обработки различных жидкостей, в т.ч. и нефтей, для получения требуемых характеристик. Для реализации этого следует создать лабораторную установку, обладающую достаточно широким набором и диапазоном изменения факторов, воздействующих на жидкости, в т.ч. и на нефть. Помимо этого, лабораторная установка должна позволять оперативно производить обработку жидкостей с нужными параметрами. Для этого необходимо предусмотреть быструю смену обрабатываемых образцов жидкости, широкий диапазон частоты и уровня воздействий факторов технологии ВСМА. Кроме этого, лабораторная установка должна обеспечивать регулирование воздействий, как по уровню, так и по частоте. По плотности обрабатываемых жидкостей диапазон должен быть от 700 до 2500 кг/м³, по частоте питающего напряжения (частота колебаний рабочего органа) от 30 до 70 Гц.

2. КОНСТРУИРОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕОЛОГИИ ЖИДКОСТЕЙ.

2.1 Состав установки, назначение основных элементов

Результаты исследований влияния технологии ВСМА на свойства различных жидкостей до настоящего времени проводились на лабораторной установке, разработанной более 10 лет назад. В результате многочисленных экспериментов выявлено ряд недоработок этой установки, влияющих на корректность переноса результатов на показатели проектируемых промышленных установок. Кроме этого желательно улучшить мобильность и удобство её обслуживания. Струи потока жидкости в этой установке направлены вверх и поэтому требуются специальные мероприятия по недопущению протекания жидкости из кюветы. Используемая в установке кювета выполнена заодно с электромагнитным приводом ёмкостью не более одного литра. Это приводит к тому, что после каждого эксперимента необходимо тщательно промывать кювету, что увеличивает временные затраты на исследования. Вариант со съёмной кюветой выглядит привлекательным. Увеличение объёма жидкости, заполняемой кювету, будет способствовать адекватности переноса результатов, полученных на лабораторной установке, на эксплуатационных характеристики промышленных установок. [5].

Среди способов реализации вибрационного движения наиболее перспективным (в сравнении с кинематическим или динамическим) с точки зрения надёжности и управляемости, соответственно, является силовое возбуждение колебаний при помощи электромагнитного вибропривода.

Принцип работы проектируемой установки с применением электромагнитно вибропривода следующий. Одну из отдельных кювет, заполненную исследуемой жидкостью, закрепляют в лабораторной установке. Отдельных кювет может быть неограниченное количество, в качестве которых могут использоваться стандартные ёмкости любых исполнений объёмом от 5 до 6 литров.

На катушки электромагнитного вибропривода по устройству ввода электропитания через диод подается напряжение переменного тока. При поступлении пропускаемой диодом одной полуволны напряжения переменного тока на катушки электромагнитов по ним протекает ток, пластина-активатор под действием электромагнитной силы притягиваются через перегородки к магнитопроводам, пружины деформируются. При этом жидкость, находящаяся под пластиной-активатором, испытывает избыточное давление и под большим давлением выталкивается через круговое отверстие в направлении от корпуса, образуя поток.

Во второй полупериод, когда диод закрывается, ток по катушкам электромагнитов не протекает, электромагнитная сила равна нулю, активатор под действием силы упругости пружины отходит от перегородок и очередной объем технологической жидкости подтекает под активатора. При постоянной подаче напряжения переменного тока на катушки электромагнитного вибропривода активатор совершает колебания, формируя постоянный поток жидкости, тем самым активируя (перемешивая и разжижая) ее. Частота напряжения переменного тока должна быть равна или близка к собственной частоте колебаний активатора в жидкости для обеспечения максимальной амплитуды колебаний.

Применение такого устройства виброструйной магнитной активации жидкостей и растворов позволяет существенно сократить потребление электроэнергии за счет реализации в нем резонансно-колебательного режима работы, характеризующегося малым потреблением энергии.

2.2 Единичный рабочий модуль виброобработки

Модуль виброобработки (МВО) является основной частью виброактиватора для лабораторной установки исследования реологии жидкостей и осуществляет непосредственное виброструйное магнитное

воздействие на жидкую среду. Принципиальное устройство МВО представлено на рисунке 2.1.

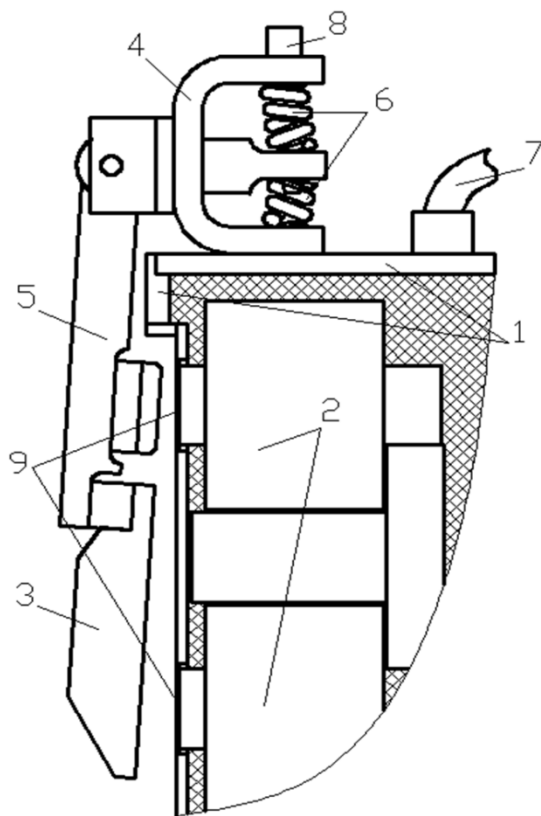


Рисунок 2.1 – Конструкция МВО

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. Поэтому корпус должен быть герметичным. Внутреннее пространство корпуса, не занятое электромагнитом (2), заливается компаундом, для обеспечения лучшего теплоотвода с обмоток электромагнита (2).

Электромагнит (2) предназначен для создания возмущающей силы в колебательной системе. Электромагнит (2) жёстко связан с корпусом (1), поэтому в данной конструкции колебания совершает активатор (3), являющийся якорем электромагнита (2). Сердечник электромагнита (2) выполнен из листов электротехнической стали П-образной формы, набранных в пакет. На обоих стержнях сердечника расположены одинаковые катушки. Активатор (3) выполнен из цельной заготовки. Активатор (3) может быть выполнен круглой или квадратной формы. В теле активатора (3) выполнено специальное трапециидальное отверстие для формирования затопленных струй. Активатор (3) закреплён на длинном плече рычага (5). Крепление подвижных элементов МВО к корпусу (1) 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 лабораторной установке исследования реологии жидкостей. Объясняется это тем, что в резонансе амплитуда колебаний активатора является максимальной. Резонансный режим обеспечивается определённым соотношением массы колеблющихся элементов и жёсткости пружины. Исходными данными для определения значения жёсткости пружин является масса активатора.

Если известны частота собственных колебаний и масса активатора, то можно расчётным путём определить жёсткость. Рекомендуемая частота собственных колебаний колебательной системы по опыту проектирования аналогичных устройств ВСМА находится в пределах от 60 до 70 Гц. Поэтому представляет определённый интерес установить зависимости эффективности работы лабораторной установки от выбранной частоты колебательной системы при проектировании.

Чертёж активатора приведен на рисунке 2.2 и размеры активатора представлены в таблице 2.1., по которым можно определить массу активатора.

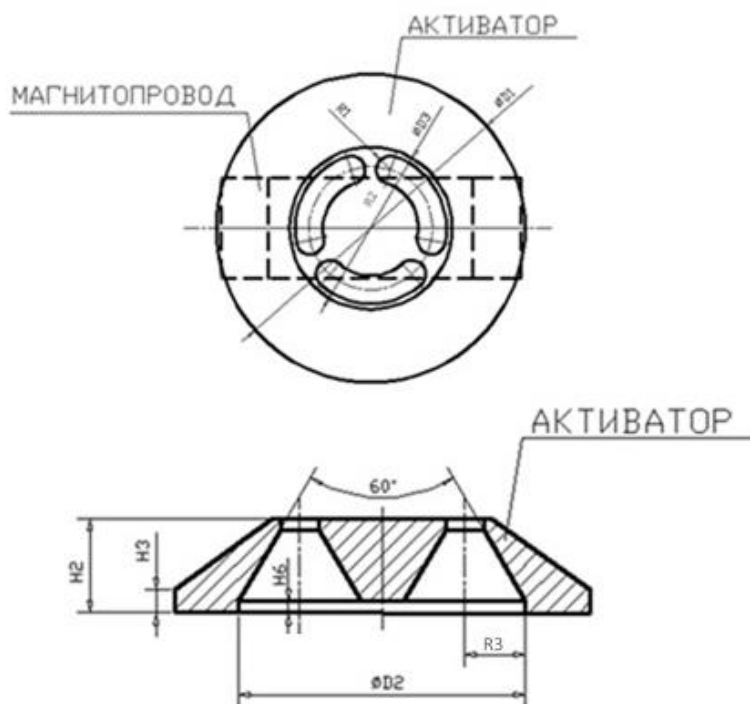


Рисунок 2.2 – Общий вид активатора

Таблица 2.1 – размеры активатора (мм).

D ₁	D ₂	D ₃	H ₂	H ₃	H ₆	R ₁	R ₂	R ₃
98	76	51	25	8	3	4	36	10

Объем активатора без учета полостей:

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

$$V_{\text{общ}} = 3.14 \left(\left(\frac{98}{2} \right)^2 \cdot 8 + \frac{1}{3} \cdot (25 - 8) \cdot \left(\left(\frac{98}{2} \right)^2 + \left(\frac{98 \cdot 51}{4} \right) + \left(\frac{51}{2} \right)^2 \right) \right) = 132787,94 \text{ мм}^3$$

Объем нижней пустой цилиндрической полости:

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

$$V_1 = 3.14 \cdot \left(\frac{76}{2} \right)^2 \cdot 3 = 13602.48 \text{ мм}^3$$

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

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

где $R_4 = D_2 - 2 \cdot R_3$

$$V_2 = \frac{1}{3} \cdot 3.14 \cdot (25 - 3) \left(\left(\frac{51}{2} \right)^2 + 0.42 \cdot 2 \cdot 36 + 3.14 \cdot 4^2 \right) + \sqrt{\left(\frac{3.14}{2} \cdot \left(\left(\frac{51}{2} - 4 \right) + 0.42 \cdot 2 \cdot 36 \right) + 3.14 \cdot 51^2 \right) + \left(\frac{3.14}{2} \cdot \left(\left(\frac{76}{2} - 10 \right) + 0.38 \cdot 2 \cdot 20 \right) + 3.14 \cdot 10^2 \right) + \left(\frac{3.14}{2} \cdot \left(\left(\frac{76}{2} - 10 \right) + 0.38 \cdot 2 \cdot 20 \right) + 3.14 \cdot 10^2 \right)} = 12145.41 \text{ мм}^3$$

Объем активатора:

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

$$V = 132787.94 - 13602.48 - 3 \cdot 12145.41 = 82749.23 \text{ мм}^3 = 0.000083 \text{ м}^3$$

Масса активатора:

$$M = V \cdot \rho, \quad (2.2.5)$$

где: ρ – плотность стали.

$$M = 0.000083 \cdot 7800 = 0.647 \text{ кг}$$

Для приведённых значений жёсткость пружины рассчитывается

$$C = \omega_0^2 \cdot M, \quad (2.2.6)$$

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

$$C = 364.24^2 \cdot 0.647 = 85837.9 \text{ Н/м (85.8 Н/мм)}$$

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, подаваемого для питания лабораторной установки, можно осуществлять с помощью однофазного преобразователя частоты.

Важным моментом при настройке работы МВО является обеспечение колебаний активатора в пределах выставленного 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.

Имеющиеся технологическая оснастка, которая была изготовлена при производстве промышленного образца вибратора типа ВЭМА-0,3, позволяет её использовать и для разработки МВО устройства для лабораторной установки исследования реологии жидкостей.

Основные размеры разработанного МВО для лабораторной установки приведены на рисунке 2.3 и в таблице 2.2.

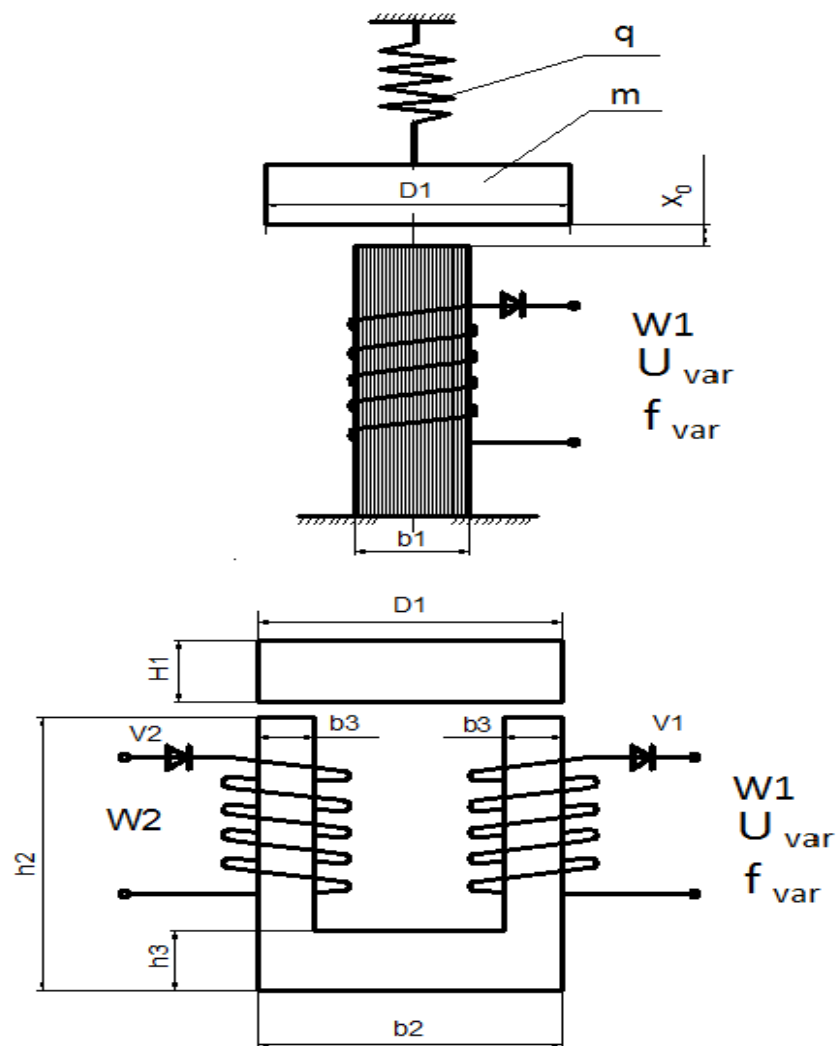


Рисунок 2.3 – Расчётная схема единичного МВО

Электромагнит жёстко связан с корпусом устройства, поэтому в данной конструкции колебания совершает активатор, являющийся якорем электромагнита.

Таблица 2.2 – Основные размеры МВО

Параметр	Обозначение	Величина
Диаметр активатора, м	D_1	0,098
Высота (толщина) активатора, м	H_1	0,025

Высота стержня индуктора магнитопровода, м	H_2	0,071
Длина спинки индуктора магнитопровода, м	B_2	0,08
Ширина индуктора магнитопровода (полюса), м	B_1	0,03
Ширина стержня индуктора (полюса), м	B_3	0,015
Толщина спинки индуктора магнитопровода, м	H_3	0,02
Величина начального воздушного зазора, м	X_0	0,004
Частота собственных колебаний системы, Гц	f_0	58
Резонансная частота в жидкости, Гц	$f_{рж}$	50

2.3 Устройство лабораторной установки

Общий вид лабораторной установки исследования реологии жидкостей представлен на рисунке 2.4.

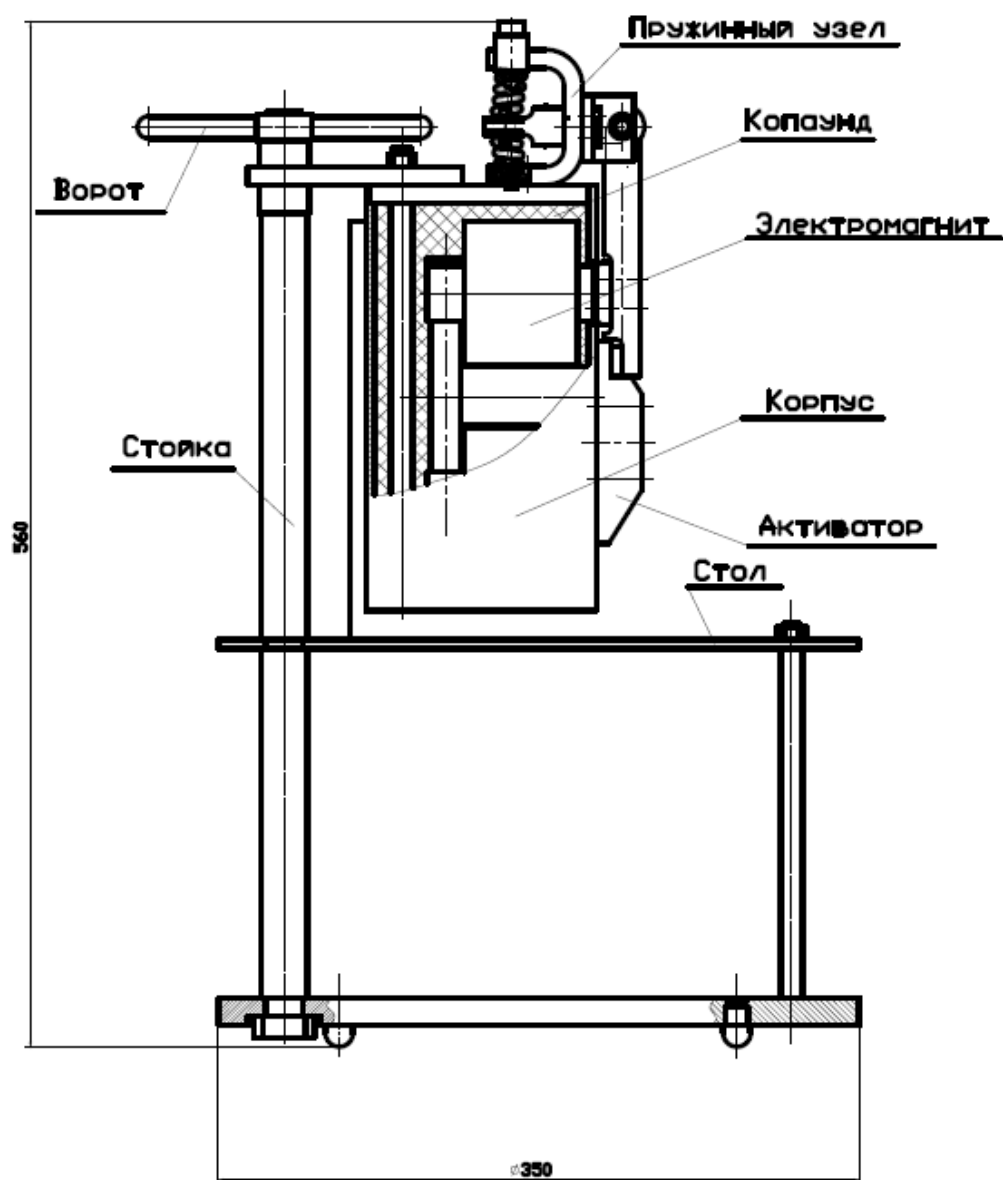


Рисунок 2.4– Общий вид лабораторной установки

Для обеспечения оперативности проведения экспериментов с различными жидкостями, как это было отмечено ранее, кювета с жидкостью должна быть сменной, а их количество соответствовать числу одновременно исследуемых образцов жидкостей. Опыт эксплуатации имеющейся установки показал, что объём обрабатываемой жидкости один литр не достаточен для объективности распространения результатов на промышленные устройства, большой производительности. Однако полученные результаты

свидетельствуют, что объём кюветы равный или более четырёх литров был бы вполне достаточен для выработки практических рекомендаций. Поэтому принимаем объём кюветы, равным четырём литрам.

2.4 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:

$$S_{\text{окна}} = (b_2 - 2 \cdot b_3) \cdot (h_2 - h_3) = (0.08 - 2 \cdot 0.015) \cdot (0.071 - 0.02) = 0.00255 \text{ м}^2. \quad (2.4.1)$$

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

$$N_o = \frac{S_{\text{окна}}}{\pi \cdot R^2} \cdot k_3 = \frac{0.00255}{3.14 \cdot 0.00073^2} \cdot 0.7 = 1067, \quad (2.4.2)$$

где N_o – количество витков обмотки;

R – радиус обмоточного провода, м;

k_3 – 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 :

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

$$B = \frac{B_2 - 2 \cdot B_3 - 0.002}{2} = \frac{0.08 - 2 \cdot 0.015 - 0.002}{2} = 0.024 \text{ м} \quad (2.4.4)$$

$$l_{\text{cp}} = \frac{2(0.03 + 0.015 + 4 \cdot 0.024) + 2(0.03 + 0.015)}{2} = 0.186 \text{ м.}$$

Находится электрическое сопротивление катушки:

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

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

S – площадь сечения обмоточного провода, $S = 0.42 \text{ мм}^2$.

$$R_k = 0.0175 \frac{0.186 \cdot 535}{0.42} = 4.14 \text{ Ом.}$$

2.5 Расчет пружинного подвеса

Выбирается пружина с жесткость не менее $C = 85.8 \text{ Н/мм}$. На рисунке 2.5 представлен чертеж пружины.

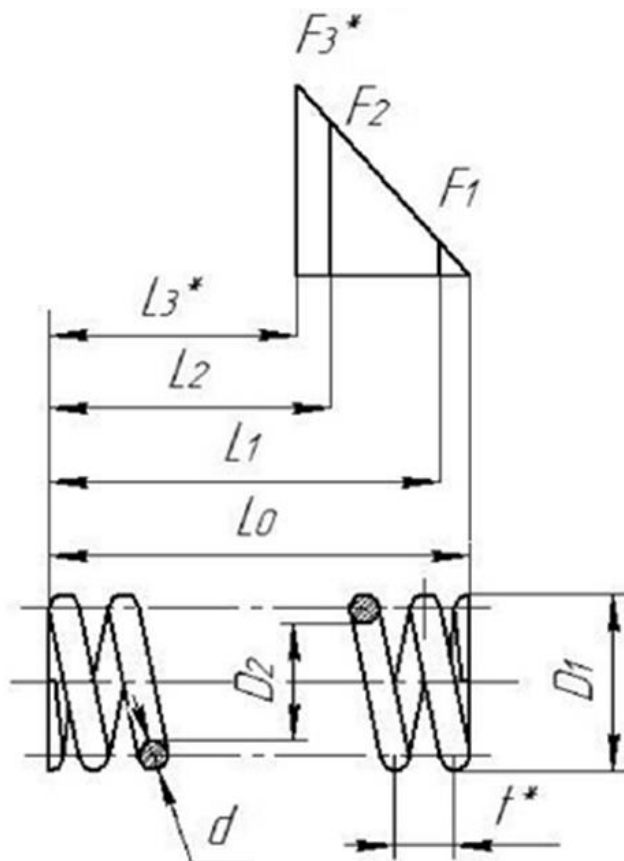


Рисунок 2.5 – чертеж пружины

В ходе выбора пружины, получили параметры, представленные в таблице 2.3.[6]

Таблица 2.3 – Параметры пружины

Материал	Проволока по ГОСТ 9389
Диаметр проволоки (прутка) d	5 мм
Наружный диаметр D ₁	29 мм
Длина пружины без нагрузки L ₀	30 мм
Рабочее число витков n	5
Контрольная (предварительная) длина L ₁	28 мм
Контрольная (рабочая) длина L ₂	26 мм
Внутренний диаметр D ₂	19 мм
Длина при соприкосновении витков L ₃	32.5 мм
Предварительная нагрузка F ₁	177.41 Н
Рабочая нагрузка F ₂	354.82 Н
Максимальная нагрузка F ₃	221.76 Н
Жёсткость пружины С	88.7 Н/мм
Шаг t	4.5 мм
Масса пружины m	0.8282 кг

2.6 Производительности активации (обработки) жидкости

Расход жидкости единичного МВО можно определить как:

$$Q = S_{\text{захв}} \cdot x \cdot f, \quad (2.6.1)$$

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

f – частота колебаний активатора.

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

$$S_{\text{захв}} = k \cdot S_{\text{осн}}, \quad (2.6.2)$$

где: $S_{осн}$ – площадь основания активатора;

k – коэффициент захвата.

Для активатора круглой формы принимается $k=1,0$.

Для вязких нефтепродуктов механическое сопротивление 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. Отмеченные закономерности изменений сопротивления представим в виде:

$$R_m(v) = R_{m0} \cdot \lambda_\phi \cdot e^{\frac{v}{\bar{v}}} , \quad (2.6.3)$$

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.

Объем активации жидкости зависит от формы активаторов, разные формы активатора имеют разные гидравлические сопротивление и площадь захвата. Проведем расчет для круглой формы активатора.

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

$$S_{захв} = k \cdot S_{осн} = 1 \cdot 0.0075 = 0.0075 \text{ м}^2 \quad (2.6.4)$$

$$\text{где: } S_{осн} = \pi \cdot r_{экв}^2 = 3.14 \cdot 0,049^2 = 0.0075 \text{ м}^2 \quad (2.6.5)$$

площадь основания формы круглого активатора,

$r_{\text{ЭКВ}} = 0.0049$ м - радиус активатора эквивалентный.

Расход жидкости, формирующийся затопленными струями активатора круглой формы Q_x с размерностью м³/ч, в этом случае при максимальной амплитуде колебаний и начальном зазоре между стенкой ЭМП и активатором $X_0 = 0.004$ м можно определить как:

$$Q_{Nx} = x \cdot \left(\frac{x}{X_0}\right)^2 \cdot S_{\text{захв}} \cdot f \cdot 3600 = 0.004 \cdot \frac{0.004}{0.004} \cdot 0.0075 \cdot 50 \cdot 3600 = 5.4 \text{ м}^3/\text{час} \quad (2.6.6)$$

Производительность активации (обработки) различных жидкостей по данным многочисленных исследований зависит от количества циклов обработки порций жидкости, находящейся в зоне активации. Таких циклов задаем 20. В таком случае производительность устройств активации будет определяться выражением:

$$S_{\text{акт}} = \frac{Q_x}{20} = \frac{5.4}{20} = 0.27 \text{ м}^3/\text{час} \quad (2.6.7)$$

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 $L_{кз}$ и активным сопротивлением $R_{кз}$.

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.

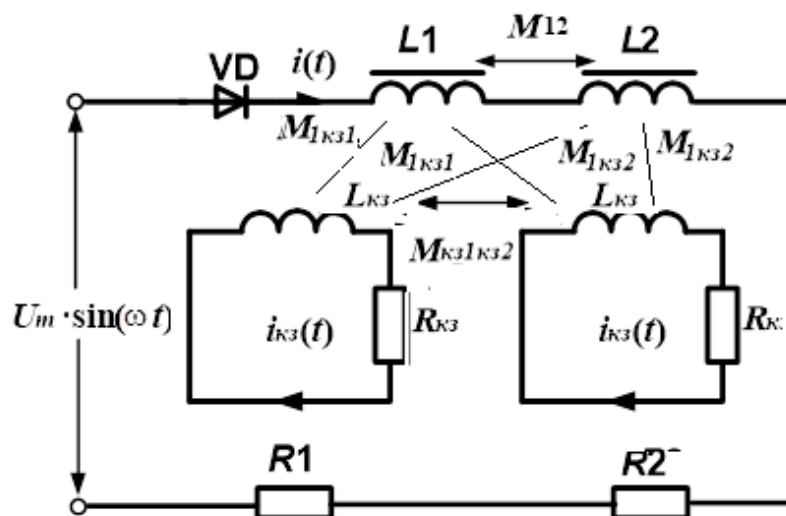


Рисунок 3.1 – Схема замещения электрической части установки

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 :

$$R_1 = R_2 = R_k = 4.14 \text{ Ом.}$$

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:

$$\begin{aligned} L_1 = L_2 = L_k &= k \cdot \frac{\mu_{ст.} \cdot \mu_0 \cdot S \cdot N^2}{l + \delta_{\Sigma} \cdot \frac{\mu_{ст}}{\sigma}} = \\ &= 1 \cdot \frac{5000 \cdot 1,26 \cdot 10^{-7} \cdot 450 \cdot 10^{-6} \cdot 535^2}{0,187 + 5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{5000}{1,5}} = 0.0048 \text{ Гн,} \end{aligned} \quad (3.1.1)$$

где $N=535$ – число витков катушки;

$l = 0,187 \text{ м}$ - длина средней линии магнитопровода;

$S = 30 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 450 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ – площадь поперечного сечения сердечника;

$\delta_{\Sigma} = x_0 + 1 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м} + 1 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ - ширина воздушного зазора;

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

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

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

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

Индуктивность КЗ контура:

$$L_{\text{кз}} = \frac{\mu_{\text{ст}} \cdot \mu_0 \cdot S}{l} = 0.0002 \text{ Гн} \quad (3.1.2)$$

Принимаем следующие значения взаимных индуктивностей:

$$M_{12} = \frac{N^2 \cdot \mu_{\text{ст}} \cdot \mu_0 \cdot S}{(\delta_{\Sigma} - x_0) \cdot \mu_{\text{ст}} + l} = 0.0156 \text{ Гн} \quad (3.1.3)$$

$$M_{\text{кз}} = \frac{N \cdot \mu_{\text{ст}} \cdot \mu_0 \cdot S}{(\delta_{\Sigma} - x_0) \cdot \mu_{\text{ст}} + \frac{l}{0.5}} = 5.96 \cdot 10^{-8} \text{ Гн}. \quad (3.1.4)$$

3.2 Механический контур лабораторной установки

Схема замещения механического приведена на Рис. 3.2

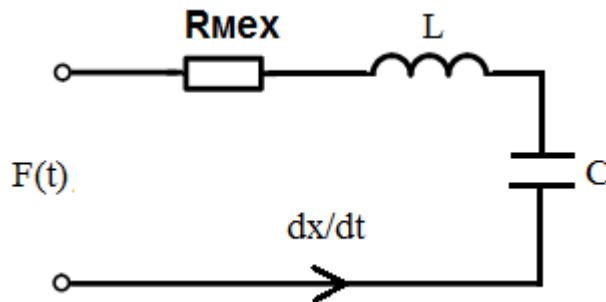


Рисунок 3.2 - Схема замещения механического контура, где

L – индуктивность,

C – конденсатор,

$R_{\text{мех}}$ – механическое сопротивление

Можно провести параллель между уравнениями для электрических и механических контуров:

$$M \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + R \cdot \frac{dx}{dt} + c \cdot x = F(t), \quad (3.2.1)$$

где M – индуктивность;

C – емкость.

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 потокосцепление 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**;

$\Psi_{в.инд.K} = i_{кз} \cdot M_{1кз1}$ - потокосцепление с короткозамкнутым контуром;

Ψ_2 - суммарное потокосцепление катушки L_2 определяется как:

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

где:

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

$\Psi_{в.инд1} = i_o \cdot M_{12}$, - взаимное потокосцепление катушек L_1, L_2 ;

$\Psi_{в.инд.K} = i_{кз} \cdot M_{1кз2}$, - взаимное потокосцепление 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: потокосцепление Ψ_1, Ψ_2 будут равны:

$$\frac{d\Psi_1}{dt} = \frac{\Psi_{соб.инд1}}{dt} + \frac{\Psi_{в.инд1}}{dt} + \frac{\Psi_{в.инд.K1}}{dt} = \frac{i_o \cdot L_1}{dt} + \frac{i_o \cdot M_{12}}{dt} + \frac{i_o \cdot M_{1кз1}}{dt}, \quad (3.3.5)$$

$$\frac{d\Psi_2}{dt} = \frac{\Psi_{соб.инд2}}{dt} + \frac{\Psi_{в.инд2}}{dt} + \frac{\Psi_{в.инд.K2}}{dt} = \frac{i_o \cdot L_2}{dt} + \frac{i_o \cdot M_{12}}{dt} + \frac{i_o \cdot M_{1кз2}}{dt}, \quad (3.3.6)$$

Используя выражение получим общую расчетную формулу:

$$\begin{aligned} U_m \cdot \sin(\omega t) = & i_o \cdot R_{\kappa} + \\ & + i_o \left(\frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1кз1}}{dt} + \frac{M_{1кз2}}{dt} \right) + \\ & + \frac{di_o}{dt} (L_1 + L_2 + M_{12} + M_{21} + M_{1кз1} + M_{1кз2}); \end{aligned} \quad (3.3.7)$$

Упростим уравнение, заменив дифференциал произведения на суммы двух дифференциалов:

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

Сгруппируем однородные члены выражения для составления системы уравнений основного контура.

$$\frac{di_o}{dt} = \frac{U_m \cdot \sin(\omega t) - 2i_o \cdot R_{\kappa} - i_o \left(\frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 1}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 2}}{dt} \right)}{L_1 + L_2 + M_{12}}, \tag{3.3.9}$$

Уравнение для короткозамкнутого контура:

$$0 = i_{\kappa 3} \cdot R_{\kappa 3} + \frac{d\psi_{\kappa 3 1}}{dt}, \tag{3.3.10}$$

Где: $\psi_{\kappa 3}$ - 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 :

$$\frac{di_{\kappa 3}}{dt} = \frac{-i_{\kappa 3} \cdot R_{\kappa 3} - i_{\kappa 3} \left(\frac{L_{\kappa 3}}{dt} + \frac{M_{\kappa 3 1 \kappa 3 2}}{dt} + \frac{M_{1 \kappa 3 1}}{dt} + \frac{M_{1 \kappa 3 2}}{dt} \right)}{L_{\kappa 3}}. \tag{3.3.11}$$

3.4 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, производить, 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.

4. АНАЛИЗ РАБОТЫ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

4.1 Изменение собственной частоты колебательной системы f_0

Задаётся диапазон изменения собственной частоты колебательной системы при работе в вакууме: $f_{01} = 60$ Гц , $f_{02} = 65$ Гц , $f_{03} = 70$ Гц , $f_{04} = 75$ Гц.

По формуле 2.2.6 рассчитывается жесткость пружинного подвеса:

$$C_1 = 91859.9 \text{ Н/м};$$

$$C_2 = 107807.8 \text{ Н/м};$$

$$C_3 = 125031.6 \text{ Н/м};$$

$$C_4 = 143531.1 \text{ Н/м}.$$

Определяется собственная частота колебательной системы при работе в жидкости:

$$f_{0ж} = \sqrt{\frac{C}{M_a + M_{ж}}}, \quad (4.1.1)$$

где M_a – масса активатора;

$M_{ж}$ – масса присоединенной жидкости.

$$M_{ж} = \frac{8}{3} \cdot \rho_{ж} \cdot R_{акт} = 0.314 \text{ кг}, \quad (4.1.2)$$

где $\rho_{ж} = 1000 \text{ кг/м}^3$ - плотность жидкости (вода);

$R_{акт} = 0.049 \text{ м}$ – радиус активатора.

$$f_{0ж1} = 49 \text{ Гц}, f_{0ж2} = 53 \text{ Гц}, f_{0ж3} = 57 \text{ Гц}, f_{0ж4} = 61 \text{ Гц}.$$

Принимается условие, что резонансная частота колебательной системы в жидкости на 3 Гц ниже, чем собственная частота при работе в жидкости, т.к. имеются потери:

$$f_{рж} = f_{0ж} - 3 \quad (4.1.3)$$

$$f_{рж1} = 46 \text{ Гц}, f_{рж2} = 50 \text{ Гц}, f_{рж3} = 54 \text{ Гц}, f_{рж4} = 58 \text{ Гц}.$$

Определяются значения усредненного механического сопротивления:

$$R_{m0} = \sqrt{2 \cdot (M_a + M_{ж})^2 \cdot (f_{0ж}^2 - f_{рж}^2)} \quad (4.1.4)$$

$$R_{m1} = 74 \text{ кг/сек}, R_{m2} = 159 \text{ кг/сек}, R_{m3} = 241 \text{ кг/сек}, R_{m4} = 306 \text{ кг/сек}.$$

Производится расчет при собственной частоте колебательной системы $f_0=60 \text{ Гц}$.

Проанализируем работу активатора. Необходимо отметить, что в ходе анализа должно соблюдаться постоянство соотношения амплитуды и частоты питающего напряжения $U/f=\text{const}$.

Учитывая тот факт, что принцип работы установки резонансный, очевидно, что необходимо рассмотреть работу установки при различных частотах питающего напряжения.

На рисунке 4.1 приведены характерные зависимости основных параметров вибратора амплитуды колебаний, магнитная сила и ток в основной цепи в зависимости от времени при частоте работы активатора $f=30 \text{ Гц}$.

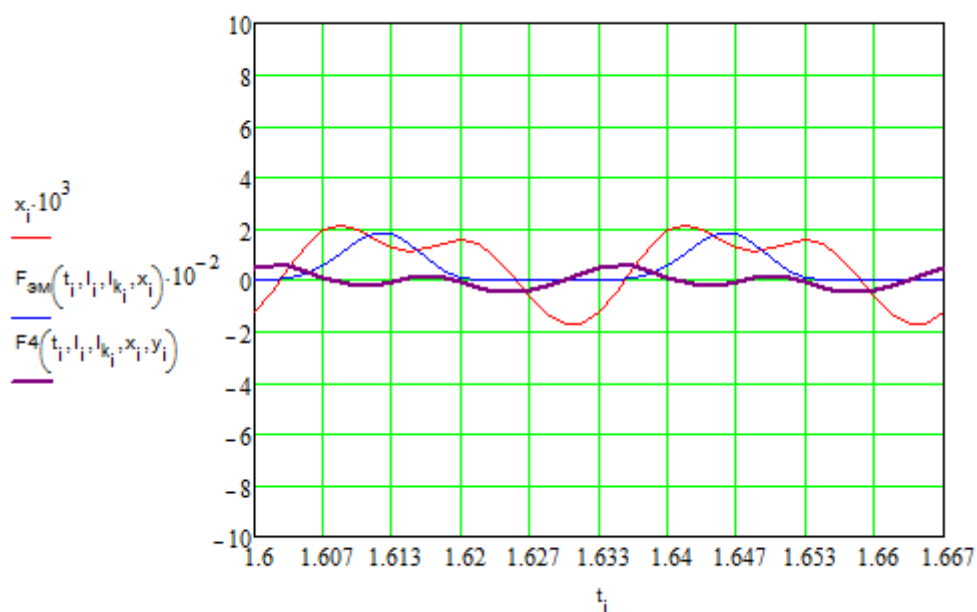


Рисунок 4.1.1 – График амплитуды колебаний при $U=90$ В, $f=30$ Гц.

Из рисунка 4.1.1 видно, что амплитуда колебаний не равномерная, есть биение между активатором и стенкой кюветы. Размах амплитуды колебания при минимальном питающем напряжении частоты $f=30$ Гц равен $\Delta x=3.92$ мм. Результат: $V=0.325$ м³/час; $I_d=1.53$ А; $I_{dkз}=150$ А.

По аналогии проводятся измерения с шагом 5 Гц до частоты питающего напряжения 70 Гц, и полученные данные заносятся в таблицу

Таблица 4.1.1 – Полученные данные при собственной частоте колебательной системы $f_0=60$ Гц и $R_{мех}=74$ кг/сек.

f	30	35	40	45	50	55	60	65	70
U, В	75	90	100	115	125	140	150	160	175
I_d , А	1.53	1.25	1.30	1.60	2.43	2.59	2.58	2.57	2.57
$I_{кз}$, А	150	155	200	280	309	280	263	254	246
Δx , мм	3.92	7.93	7.64	7.41	5.86	4.56	3.68	3.25	3.07
V, м ³ /час	0.325	0.361	0.399	0.437	0.472	0.413	0.424	0.409	0.396

На графике 4.1.1 представлена частотная характеристика воды при собственной частоте колебательной системы $f_0=60$ Гц.

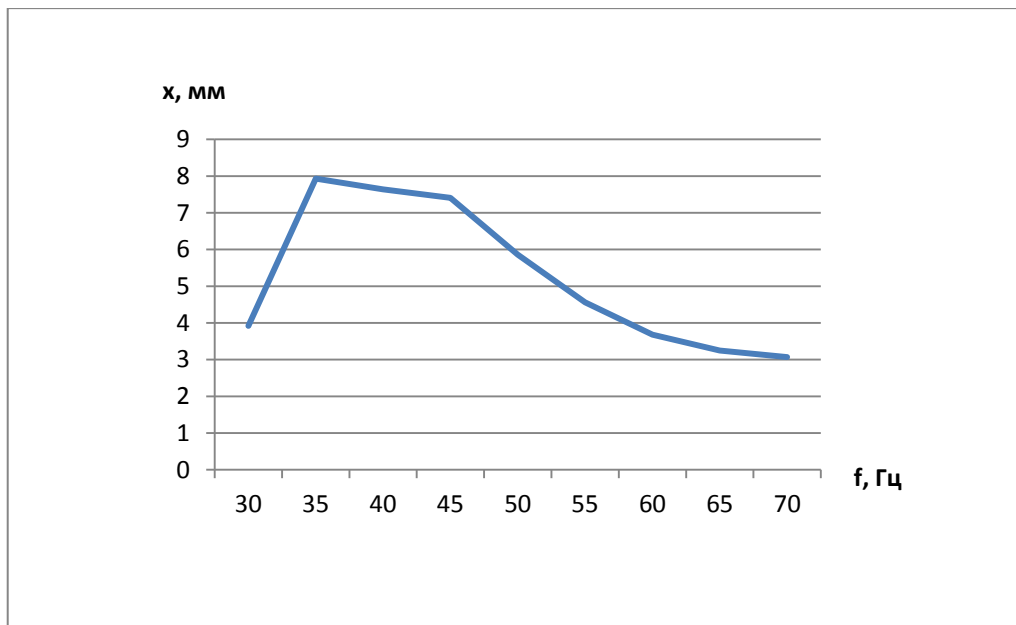


График 4.1.1 – Частотная характеристика размаха амплитуды колебаний

Из характеристики видно, что резонанс будет при частоте $f=35$ Гц. Так же установлено, что максимальное значение тока установки равно 2.59 А.

Производится расчет при собственной частоте колебательной системы $f_0=65$ Гц и полученные данные заносятся в таблицу 4.1.2.

Таблица 4.1.2 – Полученные данные при собственной частоте колебательной системы $f_0=65$ Гц и $R_{мех}=159$ кг/сек.

f	30	35	40	45	50	55	60	65	70
U, В	75	90	100	115	125	140	150	160	175
Id, А	1.56	1.64	1.76	1.95	2.15	2.31	2.41	2.47	2.51
Ikз, А	177	199	226	254	272	278	276	271	265
Δx , мм	2.48	3.07	3.43	3.41	3.2	3	2.87	2.81	2.8
V, м ³ /час	0.056	0.1051	0.144	0.134	0.131	0.142	0.143	0.143	0.127

На графике 4.1.2 представлена частотная характеристика воды при собственной частоте колебательной системы $f_0=65$ Гц.

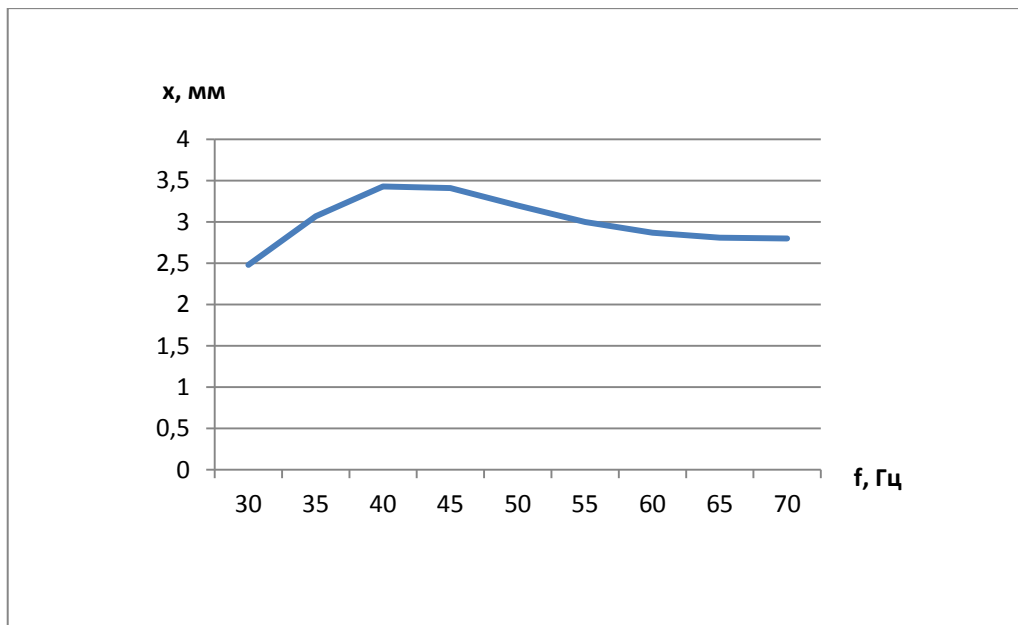


График 4.1.2 – Частотная характеристика размаха амплитуды колебаний

Из характеристики видно, что резонанс будет при частоте $f=40$ Гц. Так же установлено, что максимальное значение тока установки равно 2.51 А.

Производится расчет при собственной частоте колебательной системы $f_0=70$ Гц и полученные данные заносятся в таблицу 4.1.3.

Таблица 4.1.3 – Полученные данные при собственной частоте колебательной системы $f_0=70$ Гц.

f	30	35	40	45	50	55	60	65	70
U, В	75	90	100	115	125	140	150	160	175
Id, А	1.57	1.71	1.84	1.98	2.12	2.23	2.32	2.39	2.45
Ikз, А	181	203	222	240	253	262	265	265	268
Δx , мм	1.94	2.21	2.38	2.44	2.45	2.46	2.49	2.55	2.61
V, м ³ /час	0.023	0.034	0.044	0.052	0.059	0.062	0.065	0.063	0.064

На графике 4.1.3 представлена частотная характеристика воды при собственной частоте колебательной системы $f_0=70$ Гц и $R_{\text{мех}}=241$ кг/сек.

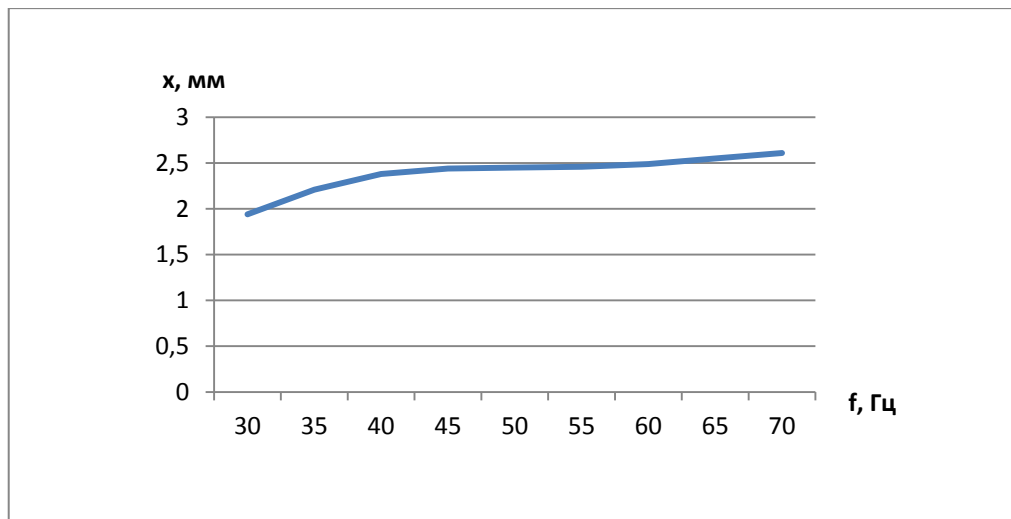


График 4.1.3 – Частотная характеристика размаха амплитуды колебаний

Из характеристики видно, что резонанс будет при частоте $f=70$ Гц. Так же установлено, что максимальное значение тока установки равно 2.45 А.

Производится расчет при собственной частоте колебательной системы $f_0=75$ Гц и полученные данные заносятся в таблицу 4.1.4

Таблица 4.1.4 – Полученные данные при собственной частоте колебательной системы $f_0=75$ Гц и $R_{\text{мех}}=306$ кг/сек..

f	30	35	40	45	50	55	60	65	70
U, В	75	90	100	115	125	140	150	160	175
Id, А	1.59	1.73	1.87	1.99	2.11	2.2	2.29	2.35	2.41
Ikз, А	182	201	219	234	245	253	257	260	265
Δx , мм	1.69	1.89	2.03	2.12	2.19	2.27	2.36	2.45	2.53
V, м ³ /час	0.0133	0.019	0.026	0.03	0.035	0.036	0.039	0.816	0.042

На графике 4.1.4 представлена частотная характеристика воды при собственной частоте колебательной системы $f_0=75$ Гц.

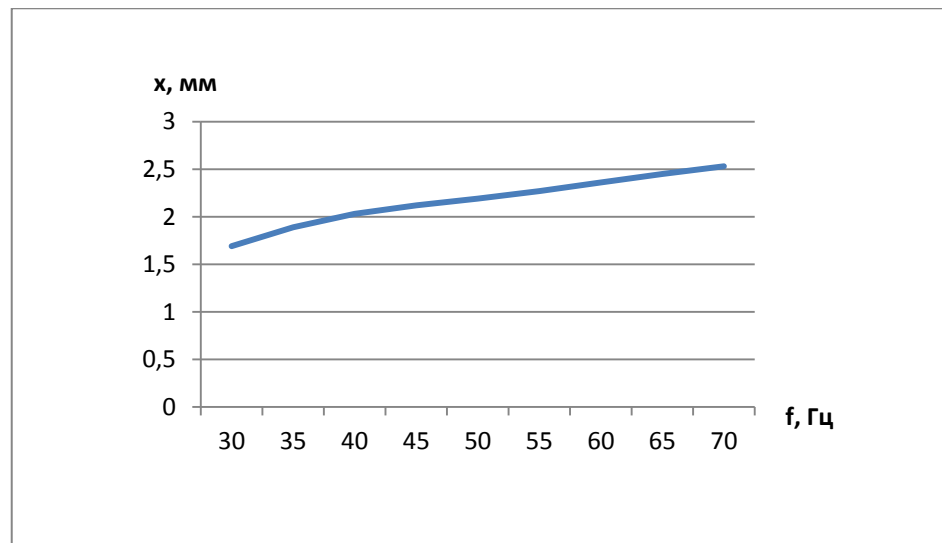


График 4.1.4 – Частотная характеристика размаха амплитуды колебаний

Из характеристики видно, что резонанс будет при частоте $f=70$ Гц. Так же установлено, что максимальное значение тока установки равно 2.45 А.

4.2 Изменение плотности жидкости

Проанализируем работу активатора. Необходимо отметить, что в ходе анализа должно соблюдаться постоянство соотношения амплитуды и частоты питающего напряжения $U/f=\text{const}$.

Значение механического сопротивления $R_m=100$ кг/с.

По аналогии с анализом при изменении собственной частоты, производится расчет при плотности жидкости $\rho=680$ кг/м³.

Полученные результаты представлены в таблице 4.2.1

Таблица 4.2.1 - Полученные результаты при изменении частоты при плотности жидкости $\rho=680$ кг/м³.

f	30	35	40	45	50	55	60	65	70
U, В	75	90	100	115	125	140	150	160	175
Id, А	1.6	1.6	1.6	1.7	2	2.4	2.5	2.6	2.6

Ikз, А	167	182	211	257	302	303	292	280	268
Δx , мм	3.29	4.16	5.28	5.47	4.89	4.25	3.72	3.36	3.17
V, м ³ /час	0.125	0.318	0.352	0.387	0.379	0.316	0.318	0.322	0.309

На графиках 4.2.1, 4.2.2 представлены частотные характеристики при плотности жидкости $\rho=680 \text{ кг/м}^3$.

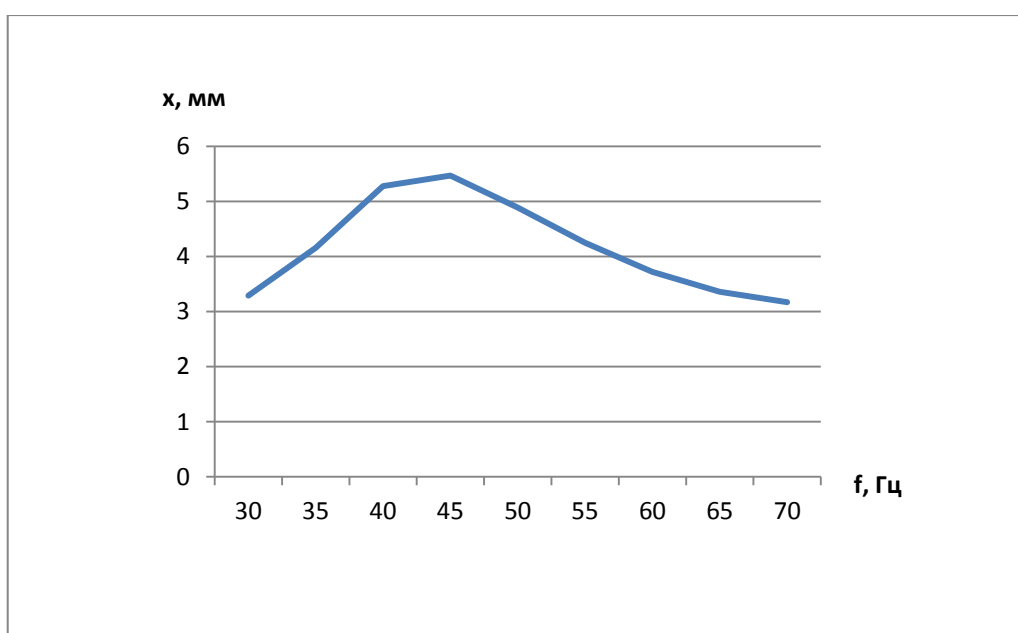


График 4.2.1 – Частотная характеристика зазора

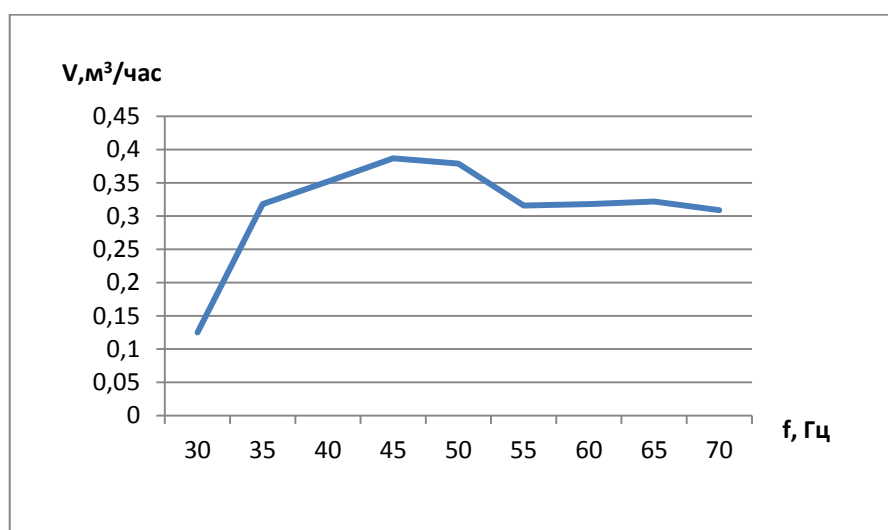


График 4.2.2 – Частотная характеристика производительности

Из характеристик видно, что при плотности жидкости $\rho=680$ кг/м³ резонанс будет при частоте $f=45$ Гц, максимальная производительность на частоте 45 Гц. Так же установлено, что максимальное значение тока установки равно 2.6 А.

Производится расчет при плотности жидкости $\rho=850$ кг/м³.

Полученные результаты представлены в таблице 4.2.2.

Таблица 4.2.2 - Полученные результаты при изменении частоты при плотности жидкости $\rho=850$ кг/м³.

f	30	35	40	45	50	55	60	65	70
U, В	75	90	100	115	125	140	150	160	175
Id, А	1,6	1,5	1,5	1,8	2,2	2,5	2,5	2,6	2,6
Iкз, А	166	182	215	266	302	292	282	271	260
Δx , мм	3,24	4,42	5,51	5,53	4,77	4,08	3,55	3,23	3,07
V, м ³ /час	0,123	0,321	0,355	0,3921	0,323	0,303	0,305	0,305	0,289

На графиках 4.2.3, 4.2.4 представлены частотные характеристики при плотности жидкости $\rho=850$ кг/м³.

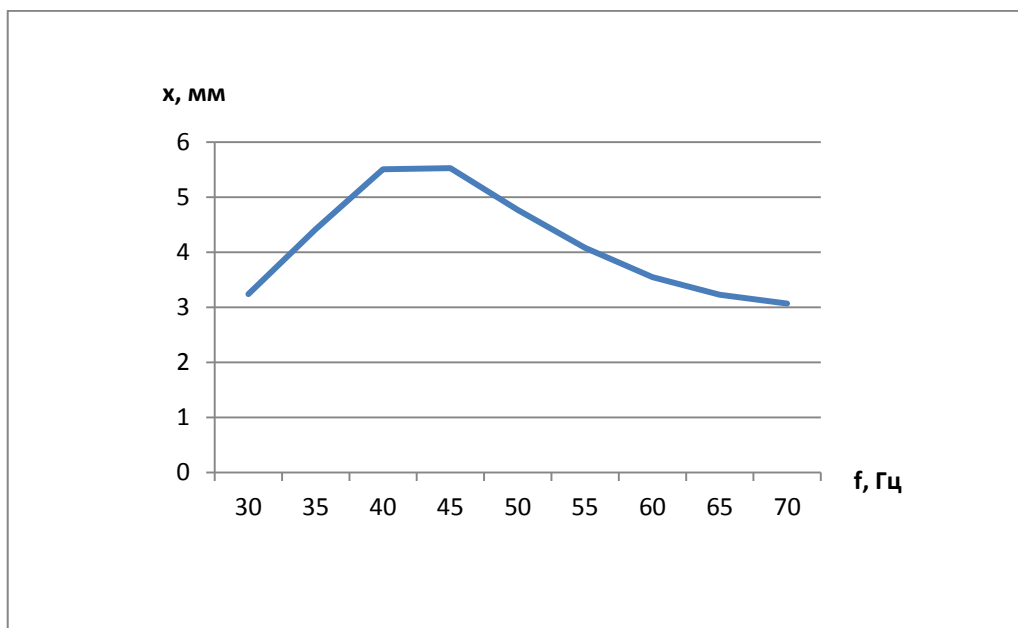


График 4.2.3 – Частотная характеристика зазора

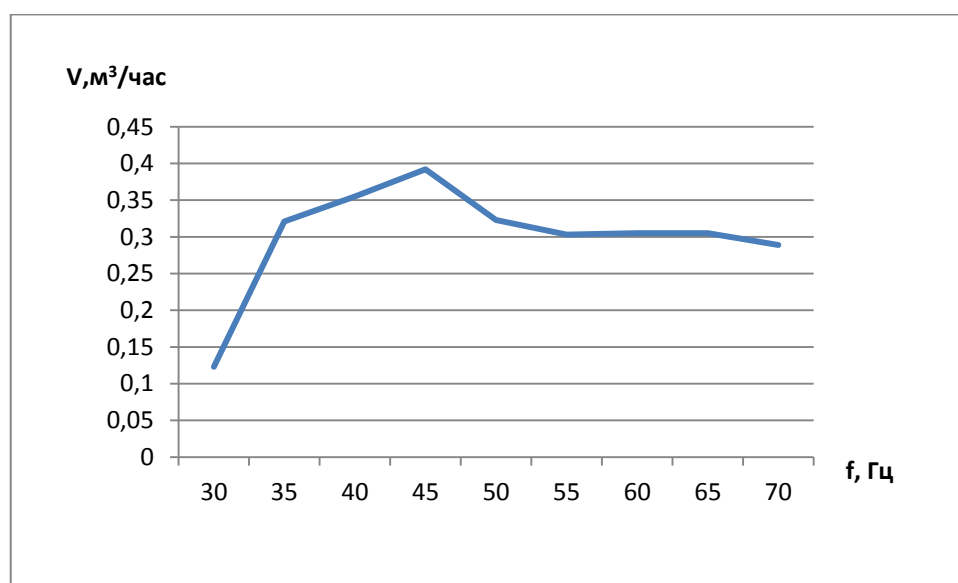


График 4.2.4 – Частотная характеристика производительности

Из характеристик видно, что при плотности жидкости $\rho=680$ кг/м³ резонанс будет при частоте $f=45$ Гц, максимальная производительность на частоте 45 Гц. Так же установлено, что максимальное значение тока установки равно 2,6 А.

Производится расчет при плотности жидкости $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$, полученные результаты представлены в таблице 4.2.3.

Таблица 4.2.3 - Полученные результаты при изменении частоты при плотности жидкости $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$.

f	30	35	40	45	50	55	60	65	70
U, В	75	90	100	115	125	140	150	160	175
Id, А	1.5	1.5	1.6	1.8	2.3	2.5	2.5	2.6	2.6
Iкз, А	164	184	219	275	297	283	275	264	255
Δx , мм	3.26	4.68	5.7	5.52	4.64	3.917	3.4	3.12	2.99
V, м ³ /час	0.123	0.324	0.358	0.395	0.3	0.289	0.293	0.289	0.276

На графиках 4.2.5, 4.2.6 представлены частотные характеристики при плотности жидкости $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$.

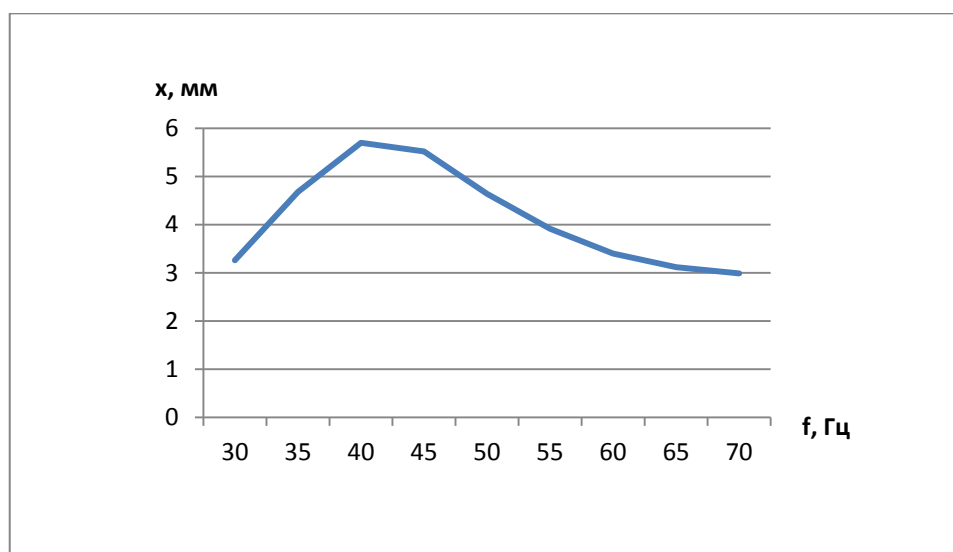


График 4.2.5 – Частотная характеристика зазора

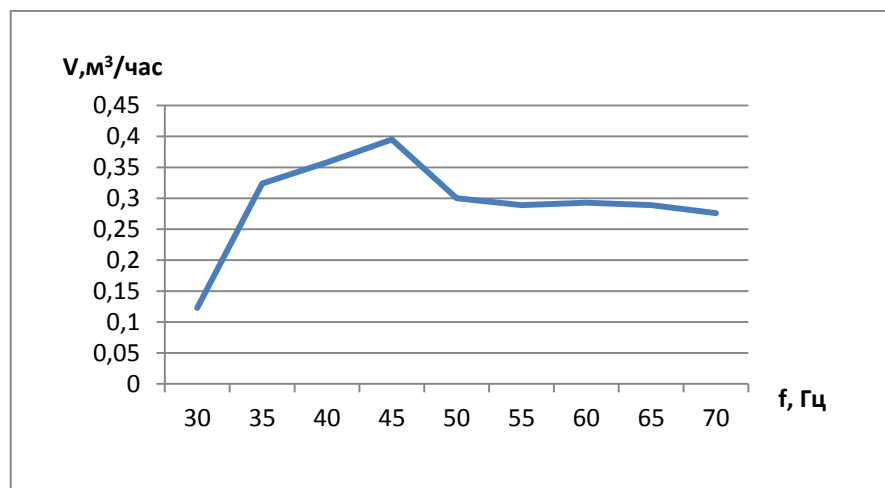


График 4.2.6 – Частотная характеристика производительности

Из характеристик видно, что при плотности жидкости $\rho=680$ кг/м³ резонанс будет при частоте $f=40$ Гц, максимальная производительность на частоте 45 Гц. Так же установлено, что максимальное значение тока установки равно 2,6 А.

Производится расчет при плотности жидкости $\rho=1500$ кг/м³, полученные результаты представлены в таблице 4.2.4.

Таблица 4.2.4 - Полученные результаты при изменении частоты при плотности жидкости $\rho=1500 \text{ кг/м}^3$.

f	30	35	40	45	50	55	60	65	70
U, В	75	90	100	115	125	140	150	160	175
Id, А	1.5	1.4	1.6	2.1	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5
Iкз, А	163	189	235	286	275	263	255	249	242
Δx , мм	3.57	5.62	6.74	5.14	4.07	3.36	2.99	2.85	2.82
V, м ³ /час	0.293	0.33	0.366	0.342	0.248	0.254	0.253	0.243	0.227

На графиках 4.2.7, 4.2.8 представлены частотные характеристики при плотности жидкости $\rho=1500 \text{ кг/м}^3$.

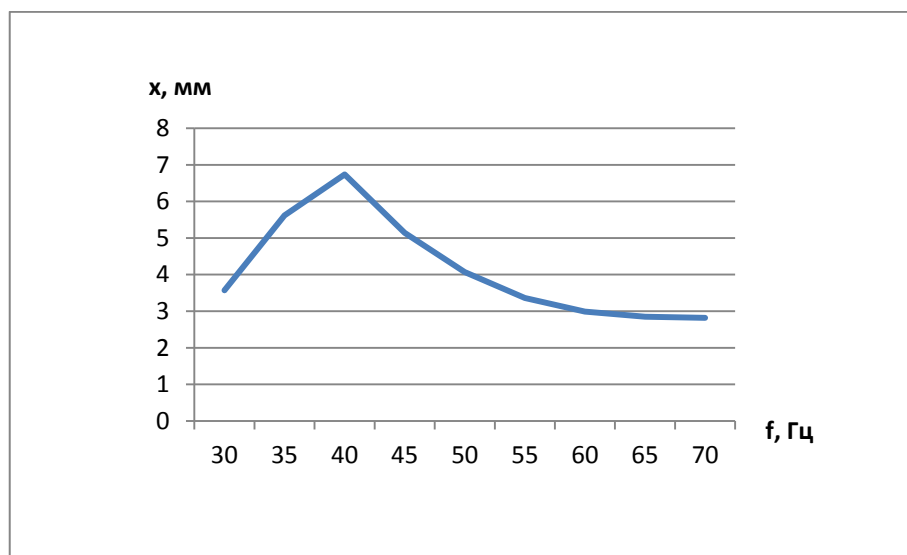


График 4.2.7 – Частотная характеристика зазора

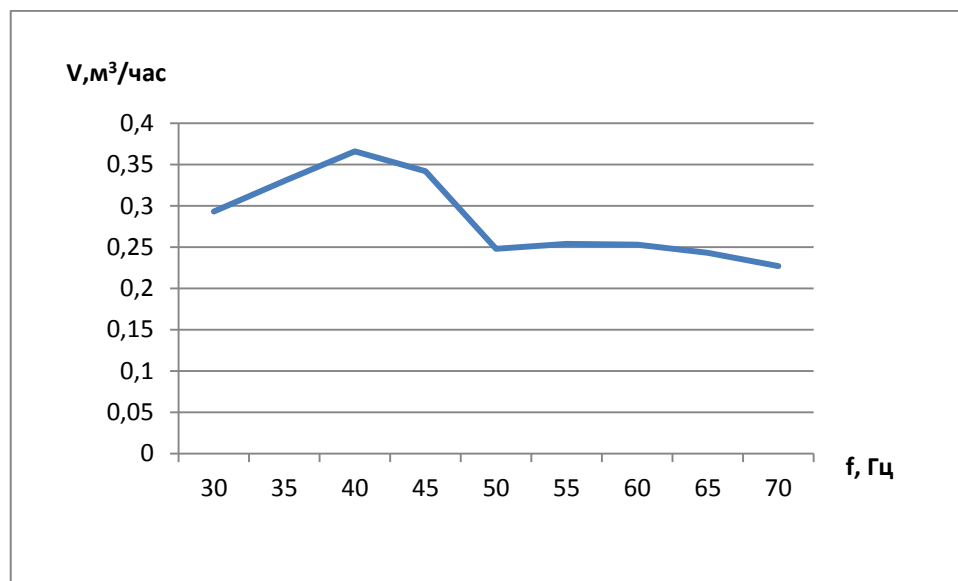


График 4.2.8 – Частотная характеристика производительности

Из характеристик видно, что при плотности жидкости $\rho=680$ кг/м³ резонанс будет при частоте $f=40$ Гц, максимальная производительность на частоте 40 Гц. Так же установлено, что максимальное значение тока установки равно 2,5 А.

В результате анализа режимов работы лабораторной установки получены рекомендации по параметрам работы установки. Диапазон изменения резонансных частот, на которых должна работать установка при различных плотностях и вязкости обрабатываемых жидкостей составляет от 35 до 70 Гц. При этом напряжение питания установки изменяется от 75 до 175 В. Максимальное значение тока, протекающего по обмоткам лабораторной установки, составляет 2,6 А, что должно учитываться при выборе элементов электропривода.

5. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ

Основными элементами схемы подключение лабораторной установки являются сам виброактиватор, преобразователь частоты и блок питания, который должен включать в себя диод, автоматический выключатель. Общая схема подключение лабораторной установки к электрической сети приведена на рисунке 5.1

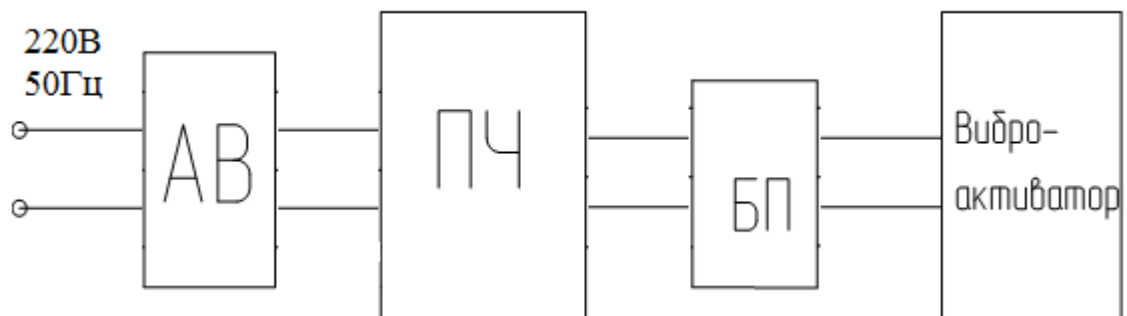


Рисунок 5.1 – Функциональная схема регулируемого электропривода.

По результатам проведенных опытов получаем исходные данные для выбора преобразователя частоты, представленные в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - данные для выбора преобразователя частоты

Диапазон регулирования частот, Гц	от 30 до 70
Номинальное напряжение сети, В	$U = 220$.
Ток фазы, А	$I_{\text{полный}} = I_{\text{max}} \cdot k_z = 2,6 \cdot 1,2 = 3,12$ I_{max} - максимальный ток, протекающий в катушке; k_z - коэффициент запаса примем равным 1,2;

5.1 Выбор преобразовательного устройства для системы

Преобразователь частоты (ПЧ) в ЭП является силовым регулятором, вход которого подключен к питающей сети с нерегулируемыми значениями напряжения U_1 и частоты f_1 , а на выходе обеспечиваются регулируемые значения напряжения U_2 (или тока I_2) и частоты f_2 в зависимости от задания и управляющих сигналов U_y .

Применение ПЧ в ЭП обеспечивает наиболее экономичные способы регулирования скорости.

По данным из таблицы 5.1 выбираем преобразователь частоты фирмы HYUNDAI серия N700E-007SF.[8]



Рисунок 5.2 – Преобразователь частоты N700E-007SF.

Недорогой преобразователь частоты с улучшенным векторным управлением, предназначен для управления общепромышленным электроприводом для маломощных, нормальных, инерционных, ударных нагрузок, конвейер, механический станок, насос, вентилятор, компрессор, ткацкий станок, промышленная стиральная машина, экструдера с немоощными

нагрузками. Рассчитан на общепромышленное применение в механизмах не требующих больших пусковых нагрузок.

Достоинством преобразователя являются:

- Применимость к различным нагрузкам;
- Усиленные защитные функции в процессе работы;
- Улучшенная функция настройки двигателя помогает осуществлять аккуратное управление скоростью;
- Функция расширенной защиты для безопасности функционирования;
- Встроенная панель (BRD) контура регенеративного торможения;
- Улучшенная система ПИД -регулирования;
- Простота в эксплуатации и техническом обслуживании;
- Компактные размеры.

В таблице 5.2 приведены паспортные данные преобразователя частоты N700E-007SF.

Таблица 5.2 – паспортные данные преобразователя частоты

Номинальный ток (А)	5
Номинальное входное напряжение (В)	1 фаза, 220-240 (50/60 Гц)
Диапазон выходных частот (Гц)	0.01-400
Функция защиты	Сверхток, перегрузка (электронная термальная), чрезмерное напряжение, недостаточное напряжение, ошибка связи, обнаружение внешнего короткого замыкания, непреднамеренный запуск - ошибка USP, ошибка EEPROM, внешняя ошибка, замыкание на землю, перегрев, обрыв фазы.
Габариты (мм)	128x68x128
Вес (кг)	1.2

5.2 Выбор аппаратуры управления и защиты

5.2.1 Аппаратура управления

Управление электромагнитным вибратором активатора осуществляется в ручном режиме. Основным объектом управления является преобразователь частоты. Управление осуществляется по двум каналам регулирования U и f .

5.2.2 Аппаратура защиты

Так как преобразователь частоты имеет много различных защитных функций, то из элементов защиты выберем только автоматический выключатель.

5.2.3 Выбор автоматического выключателя

В качестве устройства защиты трехфазной цепи будем использовать автоматический выключатель QF для защиты электрической схемы от токов короткого замыкания.

Для отдельного электроприемника :

$$1. I_{н.расч.} \geq I_{ном\ ЭП} = 3,12 \text{ A.}$$

$$2. I_{уст} \geq 1,2 \cdot I_{пуск} = 1,2 \cdot 5 \cdot 2,6 = 15,6 \text{ A.}$$

Используя справочную литературу, выбираем автоматический выключатель типа ВА25-29.[9] Его параметры приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Параметры выключателя ВА25-29

Количество полюсов	1
Номинальный ток, А	6
Номинальное напряжение, В	240
Номинальная отключающая способность, А	6000
Время срабатывания, с	0,004
Защитные характеристики	L(B); G(C)

Сечение присоединяемых проводников, мм ²	1...25
Масса одного полюса, не более, г	130
Гарантийный срок, лет	3
Срок службы, не менее, лет	12
Условие эксплуатации	УХЛЗ
Износостойкость -механическая -коммутационная	не менее 20 000 циклов В-О; не менее 10 000 циклов В-О.
Степень защиты выключателя	IP30
Соответствие	ГОСТ Р 50030.2

5.3 Расчет и выбор типа и сечения кабеля сети

В распределительных сетях до 1000 В выбор сечений питающих линий производится по длительно допустимой нагрузке:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{ном}}}{k_{\text{прок}}} = \frac{3.12}{1} = 3.12 \text{ А},$$

$$I_{\text{доп}} \geq k_3 \cdot \frac{I_{\text{н.расц.}}}{k_{\text{прок}}} = 1 \cdot \frac{6}{1} = 6 \text{ А},$$

где $k_3 = 1$ – коэффициент защиты, для сетей требующей защиты от перегрузки, находящийся в нормальном помещении и имеющих изоляцию из резины или аналогичную по тепловым характеристикам.

$k_{\text{прок}} = 1$ – поправочный коэффициент зависящий от количества параллельно прокладываемых кабелей.

Выбираем трехжильный кабель марки ВВГ (установочный провод, с медными жилами, поливинилхлоридная изоляция, поливинилхлоридная оболочка. Используется для прокладки в сухих и влажных помещениях).

Сечение жилы $S = 1,5 \text{ мм}^2$ с $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А}$. [10]

5.4 Выбор диода

Полупроводниковый диод - полупроводниковый прибор с одним р-п-переходом и двумя выводами. Наиболее распространенными являются выпрямительные диоды, принцип работы которых основан на использовании свойства односторонней проводимости р-п-перехода. Выпрямительные диоды предназначены для выпрямления переменного тока. Основные параметры выпрямительных диодов:

- максимально допустимый прямой ток -сотни миллиампер – единицы ампер,
- максимально допустимое обратное напряжение диода – десятки сотни вольт.

Для выбора диода зададимся, что $I_{пр.мах} = I_H = 10 \text{ А}$, значение $U_{об.мах} \geq U_H$, исходя из этих условия выбираем диод типа Д232 с параметрами [11]:

- $U_{об.мах} = 400 \text{ В}$.
- $I_{пр.мах} = 10 \text{ А}$.
- диапазон рабочих температур $-60 \dots +130 \text{ C}^{\circ}$
- гарантийная наработка не менее – 10000 ч.

Таким образом, в результате определены основные элементы электрической схемы электропривода установки и их эксплуатационные параметры, позволяющие обеспечить функционирование лабораторной установки во всём возможном диапазоне режимов работы при исследованиях реологических свойств различных жидкостей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе была спроектирована лабораторная установка для исследований влияния технологии ВСМА на реологические свойства жидкостей. Была составлена математическая модель, которая позволяет анализировать режимы работы вибратора при работе его на различных частотах. Произведен выбор преобразователя частоты HYUNDAI серии N700E-007SF, автоматического выключателя типа BA25-29, трехжильного кабеля марки ВВГ, диода типа Д232.

Обоснован выбор электромагнита, преобразователя частоты, активатора и защитной аппаратуры. Был проведен расчет коэффициента научно-технического уровня, который оказался довольно высоким, что указывает на высокий потенциал данного проекта. Так же было выполнено планирование проектных работ, расчет сметы затрат на проектирование, расчет капитальных вложений на реализацию и расчет расходов при эксплуатации данного электропривода.

Произведен анализ вредных и опасных факторов, анализ воздействия объекта на окружающую среду, а также разработка превентивных мер по предупреждению ЧС. Произведен расчет защитного заземления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. URL: http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/fizika/ZHIDKOST.html (дата обращения: 17.05.2016).
2. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%96%D0%B8%D0%B4%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C> (дата обращения: 16.05.2016).
3. URL: <http://lektsii.net/2-38431.html> (дата обращения: 14.05.2016)
4. Основы виброструйной магнитной активации жидких сред / Рикконен С.В., к.т.н., доцент, зав. отделом ОАО «СКБ Сибэлектромотор».
5. Анализ результатов экспериментального исследования системы управления вибрационным электромагнитным активатором при работе в различных средах / Р. Ф. Бекишев [и др.]. // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ] / Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск, 2005. — Т. 308, № 7. — [С. 109-112]. — (Технические науки). — Заглавие с титульного листа. — [Библиогр.: с. 112 (3 назв.)].
6. URL: [http://www.mirpruzhin.ru/raschet_prugin_sgatiya/?p99=1&p1=1&p2=1&p3=5&p4=25&p6=300&p7=8&p9=250&p10=40&p22=1&submit="+](http://www.mirpruzhin.ru/raschet_prugin_sgatiya/?p99=1&p1=1&p2=1&p3=5&p4=25&p6=300&p7=8&p9=250&p10=40&p22=1&submit=) (дата обращения: 20.05.2016).
7. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений (метод Рунге – Кутты): учеб. пособие / Ю.Н. Горелов; Федер. агентство по образованию. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 2006. – 48 с.
8. URL: http://xn--80aqahnfuib9b.xn--p1ai/n700e_007sf.html (дата обращения: 27.05.2016).
9. URL: <http://www.elav.ru/index.php?id=18> (дата обращения: 02.05.2016)

10. URL: <http://kabel-vvg.ru/tehnicheskie-harakteristiki-kabelya-vvg/>
(дата обращения: 27.05.2016)
11. URL:
http://istochnikpitania.ru/index.files/Sprav_Diody1.files/Sprav1_Diody_15.htm
(дата обращения: 27.05.2016)
12. URL: <http://www.265260.ru/> (дата обращения: 02.05.2016)
13. Правила устройства и безопасной эксплуатации (утв. постановлением Госгортехнадзора РФ от 16 мая 2003 г. N 31). Настоящим Правилам присвоен шифр ПБ 10-558-03
14. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда
15. (ОБЩИЕ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВОЗДУХУ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ). ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т “Пожарная безопасность. Общие требования.”
16. ГОСТ 12.1.003-83 (Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности).
17. ГОСТ 12.1.012-90 “Вибрационная безопасность. Общие требования.”
18. Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014).
19. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681
20. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т “Пожарная безопасность. Общие требования.”
21. СП 9.13130.2009 “Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации.”
22. ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). “Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.”
23. Справочник инженера по эксплуатации нефтегазопроводов и продуктопроводов. Книга / Техника./ Бахмат Г.В., Васильев Г.Г., Богатенков Ю.В., год издания – 2006.

24.URL:

<http://megabook.ru/article/%D0%96%D0%B8%D0%B4%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C> (дата обращения: 17.05.2016).

Приложение А

Чертеж лабораторной установки

