

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время опыт показывает, что только наиболее высокое качество буровых растворов позволяет наиболее полно использовать технические возможности долот и забойных двигателей, увеличить срок их службы, повысить скорость бурения, улучшить качество вскрытия пластов, сократить время бурения, тем самым сократить затраты на электроэнергию. При бурении скважины буровые растворы выполняют множество различных функций, такие как:

- перенос энергии от насоса к забойному двигателю;
- размыв породы на забое скважины;
- отвод тепла от долота на забое скважины;
- предотвращение проникновения в ствол газа, нефти и воды из пластов, образующих стенки скважины;
- удержание частиц вырубленной породы;
- сохранение целостности стенок скважины, сложенных слабосцементированными породами;
- уменьшение проницаемости стенок скважины;
- уменьшение трения бурильных и обсадных труб о стенки скважины.

Для получения качественного бурового раствора необходимо внедрение новых технологий, способных во много раз повысить их качество.

Приготовление бурового раствора - это получение промывочной жидкости с необходимыми свойствами в результате переработки исходных материалов и взаимодействия компонентов.

Организация работ и технология приготовления бурового раствора зависят от его рецептуры, состояния исходных материалов и технического оснащения. Разберем технологический процесс приготовления глинистого раствора.

Такой раствор готовят либо централизованно на глинозаводе, либо на месте добычи. Централизованное обеспечение буровым

раствором целесообразно при длительном бурении крупных месторождений и близком расположении буровых, когда для промывки скважин требуются растворы с одинаковыми или близкими параметрами. В этом случае более полно и экономично используются исходные материалы, требуются меньшие энергетические затраты по сравнению с приготовлением раствора на буровых вышках, ниже себестоимость раствора, работники буровой освобождаются от тяжелой и трудоемкой работы.

Наиболее экономично целесообразно приготовление бурового раствора гидромониторным способом непосредственно в глинокарьере, расположенном вблизи от большой группы буровых. Если таких условий нет, то глинозавод размещают в центре разбуриваемой площади, а глину доставляют с карьера автомобильным, железнодорожным или водным транспортом. На глинозаводах в гидромешалках объемом 10...40 м³ готовят 400... 1000 м³ глинистого раствора в сутки. Доставляют его на буровые по трубопроводу, в автоцистернах или на специальных судах[1].

При большой разбросанности буровых вышек, сложности доставки готового раствора на них буровые растворы готовят на месте его применения. Для этого в настоящее время буровые оснащают блоком приготовления бурового раствора из порошкообразных материалов, которые поставляются в таре.

Глинопорошки готовят на заводах из качественных глин путем их сушки и последующего помола в мельницах. При этом влажность комовых глин не снижают ниже 7 %, а также не спекают глинистые частицы. Заводы глинопорошков строят на месторождениях качественных глин или в местах потребления[1].

На рисунке 1.1 приведён общий вид блока приготовления буровых растворов БПР-1, применяемого на месте бурения скважин.

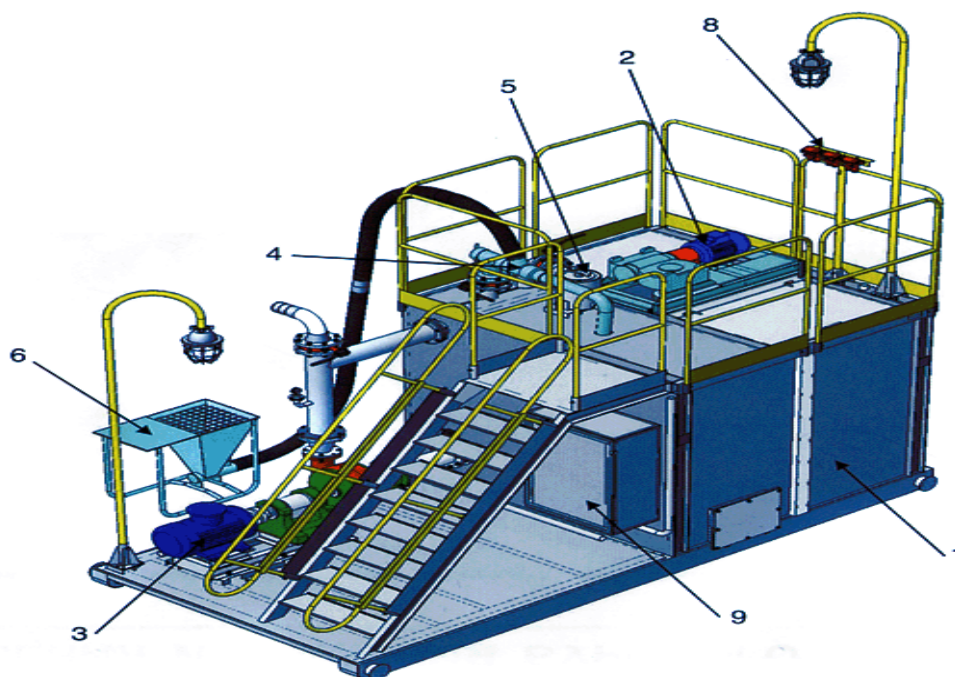


Рисунок 1.1 Блок приготовления буровых растворов [2]

В комплект БПР-1 входят:

1. Ёмкость $V=10 \text{ м}^3$ – 1 шт.
2. Перемешиватель ПБР-7,5 – 1 шт.
3. Насос горизонтальный шламовый 6Ш8-2 – 1 шт.
4. Смеситель СГМ-100 – 1 шт.
5. Диспергатор ДШ-100 – 1 шт.
6. Воронка смесителя переносная – 1 шт.
7. Комплект трубопроводной обвязки с запорной арматурой (не показан)
8. Пост управления кнопочный
9. Шкаф управления взрывозащищённый

Краткие технические характеристики БПР-1 приведены в таблице 1.1

Таблица 1.1 Параметры БПР-1

Параметры	Ед. изм.	Значение
Полезный объём бурового раствора	м^3	10

Производительность объёмная	м ³ /час	15
Установленная потребляемая мощность, в т.ч. электродвигателя мешалки	кВт кВт	не более 40 7,5
Габаритные размеры (длина – ширина – высота (до верхней площадки))	мм	5315x3535x2500
Масса	кг	не более 4200

Буровые растворы в технологических процессах бурения могут обладать различными физико-механическими свойствами, которые оказывают существенное влияние на процесс бурения и качественное состояние скважин. Качество буровых растворов должно обеспечивать максимальную механическую скорость бурения, наилучшее качество и минимальную стоимость буровых работ в конкретных условиях. Выполнение перечисленных требований осуществляется в процессе приготовления бурового раствора и этот технологический процесс, помимо традиционных требований, должен удовлетворять следующим требованиям:

возможность быстрого приготовления бурового раствора в условиях флюидопроявлений;

оперативное регулирование параметров бурового раствора;

минимальные энергозатраты;

минимальная экотоксичность бурового раствора.

В настоящее время приготовление бурового раствора производится перемешиванием механическими мешалками с применением различных смесителей и гидравлических диспергаторов, свойства буровых растворов регулируются путем добавления химических реагентов. Этот процесс занимает достаточно много времени и тем самым сказывается на увеличении затрачиваемой электроэнергии, буровой раствор за счет химических

реагентов очень экотоксичен, размер частиц глины в суспензии при использовании механической мешалки достаточно велик не менее 20 мкм.

Технология и оборудование виброструйной магнитной активации растворов (ВСМАР), разработанная в Томской политехническом университете, обладает высокими удельными параметрами активации, что позволило рекомендовать её для приготовления буровых растворов на буровых вышках с большей эффективностью, чем механические мешалки.

Технология ВСМАР позволяет сократить время приготовления буровых растворов, уменьшить энергозатраты и повысить качество буровых растворов за счёт большей диспергации частичек глины.

В основу технологии и оборудования ВСМАР жидких сред положены принципы создания резонансно-колебательных электромеханических преобразователей (РКЭМП). РКЭМП являются устройствами, реализующими многокомпонентное физическое воздействие, позволяющее решать определенные эксплуатационные задачи, обеспечивая при этом широкое регулирование уровня воздействия при минимальных энергетических затратах [3].

Параметры, количественно характеризующие процессы, происходящие при работе РКЭМП в значимом объеме жидкой среды, и анализ научно-технической информации показал, что данные устройства в значительной степени перспективны для воздействия на различные технологические жидкости, для получения требуемых эксплуатационных показателей последних. Это относится, в первую очередь, к массообменным процессам в многокомпонентных жидких системах (перемешивание, смешивание, диспергация и т.п.).

В качестве прототипа такого устройства может служить прибор вибратор электромагнитный активационный ВЭМА-0,3 фирмы ОАО «СКБ Сибэлектромотор», который при минимальных энергозатратах оказывает многокомпонентное воздействие на буровой раствор: значительное акустическое воздействие; мощное омагничивание; интенсивное

перемешивание с высокими сдвиговыми скоростями, знакопеременное давление в зоне активации [4].

На рис. 1.2 приведён общий вид вибратора ВЭМА-0,3 [5].



Рисунок 1.2. Вибратор ВЭМА 0,3

Таблица 1.2 Технические характеристики вибратора ВЭМА 0,3

Тип вибратора	Потребляемая мощность, кВт	Потребляемый ток, А	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ВЭМА-0,3	0,3	до 7	330x330x350	40

Для определения возможностей использования технологии и оборудования ВСМА для приготовления и обработки бурового раствора были проведены промышленные испытания применения вибратора ВЭМА-0,3 на примере утяжеления бурового раствора [6].

Испытания проводились при утяжелении бурового раствора из расчета добавления барита (1,0 тонна) на $1,0 \text{ м}^3$ бурового раствора.

Объем емкости обработки составлял 32 м^3 , работало четыре вибратора ВЭМА-0,3.

Время приготовления бурового раствора традиционными механическими мешалками – не менее 6 часов.

Таблица 1.3 Испытания утяжеления бурового раствора

Параметры бурового раствора	Значения параметров до начала испытаний	Значения параметров после испытаний (Контрольная ёмкость с механической мешалкой)	Значения параметров после испытаний (Ёмкость, оборудованная ВЭМА-0,3)
Плотность, г/см ³	1,19	1,73	1,73
Вязкость(условная), с	50	61	34
Водоотдача, см ³	4,5	4,5	4,0
Время приготовления, час	-	6,0	4,2

Как видно из представленных данных в таблице 1.3 время приготовления бурового раствора с применением ВЭМА-0,3 сократилось на 30%, энергопотребление уменьшилась на 22 кВт*час.

По результатам проведенных промысловых испытаний применения ВЭМА-0.3 для приготовления буровых растворов можно сделать следующие основные выводы[6]:

1. Применение четырех ВЭМА-0.3 для приготовления бурового раствора сокращает время на его приготовление на 30 %;
2. Применение ВЭМА-0.3 при приготовлении бурового раствора позволяет регулировать реологические параметры раствора путем изменения количества вибраторов или изменением времени их воздействия на раствор;
3. Применение четырех ВЭМА-0.3 позволяет снизить энергоёмкость технологического процесса приготовления бурового раствора на 24 %.

4. Количество устанавливаемых ВЭМА-0,3, обеспечивающих сокращение времени приготовления бурового раствора, зависит от объёма и конструктивных особенностей ёмкости. Из полученных данных результатов испытаний количество вибраторов, необходимых для сокращения времени приготовления в два раза, определяется из расчета – один виброактиватор ВЭМА-0,3 на 5 м³ раствора.

5. Регулирование реологических свойств буровых растворов при применении ВЭМА-0,3. позволяет снизить химические реагенты.

Из приведенных выше преимуществ оборудования ВСМАР можно сделать вывод, что данное оборудование позволит значительно сэкономить энергозатраты, повысить качество буровых растворов.

Для достижения необходимой производительности устройства ВСМАР, рекомендованного для замены электродвигателя механической мешалки в блоке приготовления бурового раствора, следует использовать несколько модулей типа вибратора ВЭМА-0,3, каждый из которых обеспечивает свою равную долю в общую производительность.

Главным отличием устройств ВСМАР является работа в режимах близких к резонансу. Этот режим работы устройств ВСМАР обеспечивает максимальные удельные показатели по производительности обработки при минимальных затратах электроэнергии. При приготовлении бурового раствора различной плотности необходимо подстраивать режим работы оборудования ВСМАР к режиму работы близким к резонансу. Для этого необходимо предусматривать возможность регулирования частоты воздействий. Для электромагнитных устройств, каковым и являются устройства ВСМАР, это реализуется использованием частотных преобразователей.

Таким образом, учитывая вышеизложенное, основные исходные данные настоящей работы по проектированию устройства ВСМАР, предназначенного для приготовления бурового раствора, можно свести к следующему:

1. Напряжение питания, В - 220/380, 50 Гц
2. Производительность обработки, м³/час - 10
3. Обеспечение регулирования частоты воздействий 30 – 50 Гц
4. Модульная компоновка устройства ВСМАР.
5. Частота собственных колебаний ВСМАР Гц - 62

ГЛАВА 1. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ВИБРОАКТИВАТОРА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БУРОВОГО РАСТВОРА

1.1 Единичное рабочее устройство виброобработки

Из существующего опыта разработок оборудования ВСМАР следует, что наиболее целесообразным при разработки конструкции устройства для приготовления бурового раствора является модульный подход, позволяющий оптимально решить следующие задачи: обеспечить высокую производительность при заданных габаритах. Так же решается задача высокой работоспособности и надёжности.

Модуль виброобработки (МВО) является основной частью виброактиватора для приготовления бурового раствора, который осуществляет непосредственное виброструйное магнитное воздействие на раствор.

Модуль виброобработки состоит из 7 основных частей:

- 1 – корпус;
- 2 – электромагнит;
- 3 – активатор;
- 4 – кронштейн;
- 5 – рычаг;
- 6 – упругость (пружина);
- 7 – стенка корпуса МВО.

Корпус МВО 1 предназначен для размещения электромагнита 2 в объёме, изолированном от воздействия жидкой среды обработки. Другими словами корпус МВО должен быть герметичным. Пространство корпуса, не занятое электромагнитом, заполняется 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 обмотки. Активатор выполнен из цельной стальной заготовки круглой формы. В активаторе выполнено специальное трапециевидное отверстие для формирования затопленных струй. Активатор 3 закреплён на длинном плече рычага 5. Подвижные элементы МВО крепятся к корпусу при помощи кронштейна 4.

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

МВО, представляющий собой колебательный механизм, работает в резонансном режиме, который позволяет затрачивать минимум электроэнергии и одновременно оказывает максимальное комплексное виброструйное магнитное воздействие на буровой раствор, находящийся в ёмкости. Объясняется это тем, что в резонансе амплитуда колебаний активатора является максимальной. Резонансный режим обеспечивается определённым соотношением массы колеблющихся элементов и жёсткости колебательной системы. Для определения жёсткости пружин необходимо знать массу активатора и собственную частоту колебательной системы.

При работе МВО на воздухе можно предположить, что данный режим соответствует колебаниям активатора на собственной частоте, так как потери практически отсутствуют. Значит, если известна (или задана) частота собственных колебаний и масса активатора, то можно расчётным путём определить жёсткость.

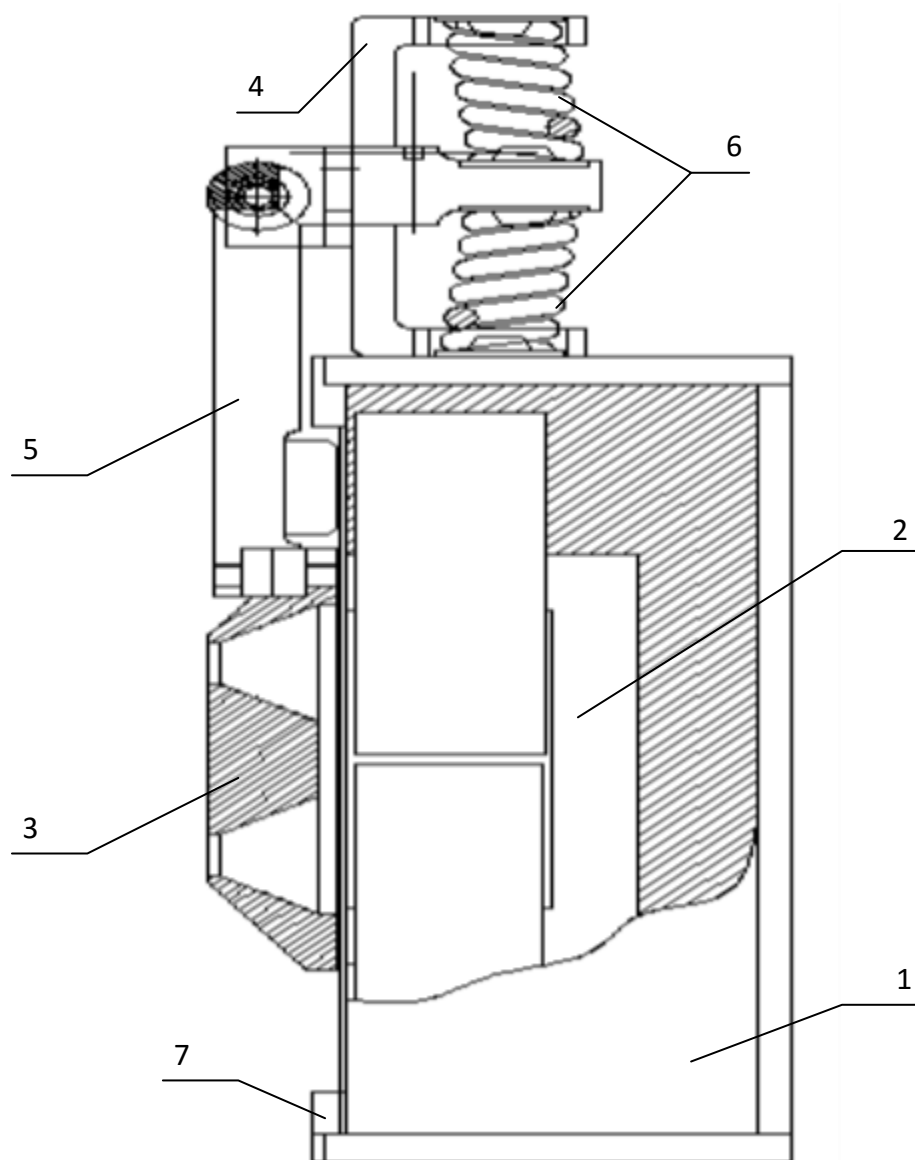


Рисунок 1.1.1 Конструкция модуля виброобработки

По условиям задания для исполнения проектируемого ВСМАР, применяемого для приготовления буровых растворов, частота собственных колебаний рекомендована на уровне 62 Гц.

Масса активатора определяется из его геометрических размеров, а также материала из которого он изготовлен. Определение массы активатора необходимо для проектирования и расчёта пружинного подвеса колебательной системы устройства МВО. Расчёт массы активатора носит предварительный характер и при его реализации можно сделать некоторые допущения, позволяющие упростить ход расчёта. Учитывая, что активатор

выполнен из стали 10 ГОСТ 1050-88, плотность материала активатора равна 7856 кг/м^3 . Объём активатора, занимаемый стальной частью, можно представить как совокупность частей, имеющих цилиндрические и конусные формы. Упрощённая схема составных частей активатора, представлена на рисунке 1.1.2. Активатор выполнен из цилиндрической заготовки.

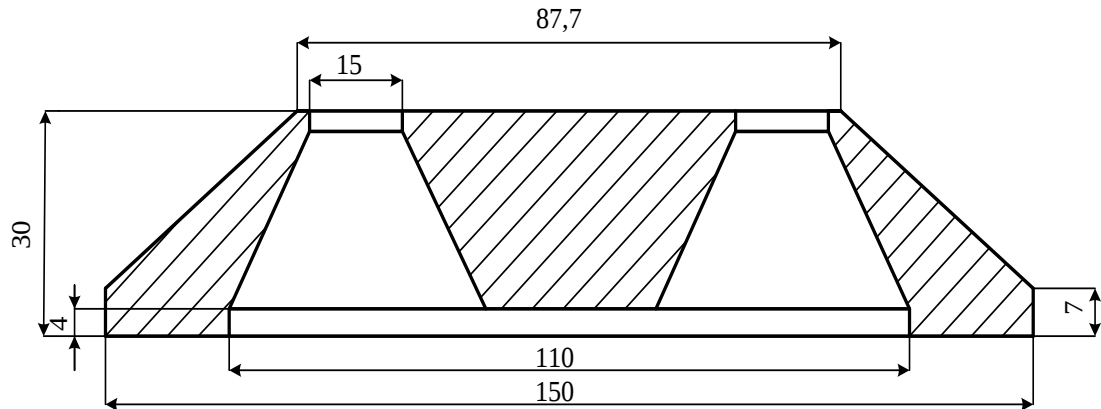


Рисунок 1.1.2 Сечение активатора

$$V1 = \frac{1}{3} * \pi * h(75^2 + 75 * 3.75 + 3.75^2) = 1438635 \text{ мм}^3 \quad (1.1.1)$$

$$V2 = \pi * 75^2 * h = 3.14 * 5625 * 7 = 1236375 \text{ мм}^3 \quad (1.1.2)$$

$$V = V1 + V2 = 0.000267 \text{ м}^3 \quad (1.1.3)$$

где: V – объём активатора

$V1$ - объём цилиндрического основания активатора

$V2$ - объём усечённого конуса, образованного наружной формой активатора

Массу активатора посчитаем по формуле:

$$M = \rho * V \quad (1.1.4)$$

где: ρ – плотность стали 10 ГОСТ 1050-88 равна 7856 кг/м^3 ;

$$M = 7856 * 0.000267 = 2.09 \text{ кг}$$

Объём материала активатора, рассчитанный по формулам, составляет 0.000267 м^3 , а расчётная масса активатора составляет 2.09 кг .

Для приведённого значения массы активатора жёсткость рассчитывается

$$q = \omega_0^2 * m = 389.557^2 * 2.09 = 317,170 * 10^{-3} \text{ Н/м} \quad (1.1.5)$$

где: $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0 = 2 \cdot 3,14 \cdot 62 = 389,557$ рад/с – угловая частота собственных колебаний механической части ЭМП;

m – масса подвижных элементов ЭМП (активатора).

Определив величину жесткости колебательной системы, рассчитываем пружину [6]

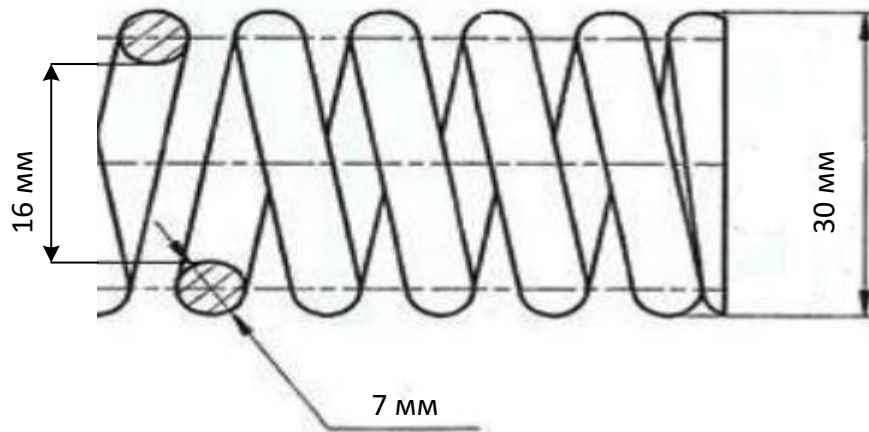


Рисунок 1.1.3 Пружина сжатия

Основные параметры пружины:

Диаметр пружинной проволоки – 7 мм.

Наружный диаметр пружины – 30 мм

Внутренний диаметр пружины – 16 мм.

Число витков пружины – 6

Высота пружины в свободном состоянии – 60 мм

Далее необходимо определить обмоточные данные катушек. Обмоточные данные катушки это количество витков и диаметр обмоточного провода. Эти данные можно получить исходя из размеров магнитопровода. Обмотка размещается в окне магнитопровода. Из технологических соображений рекомендуется заполнять окно магнитопровода двумя обмотками, расположенными на каждом из стержней магнитопровода. На рис.1.1.4 приведены данные, характеризующие один из вариантов выполнения электромагнита при выбранном диаметре активатора.

Магнитопровод с обмоткой (вид спереди)

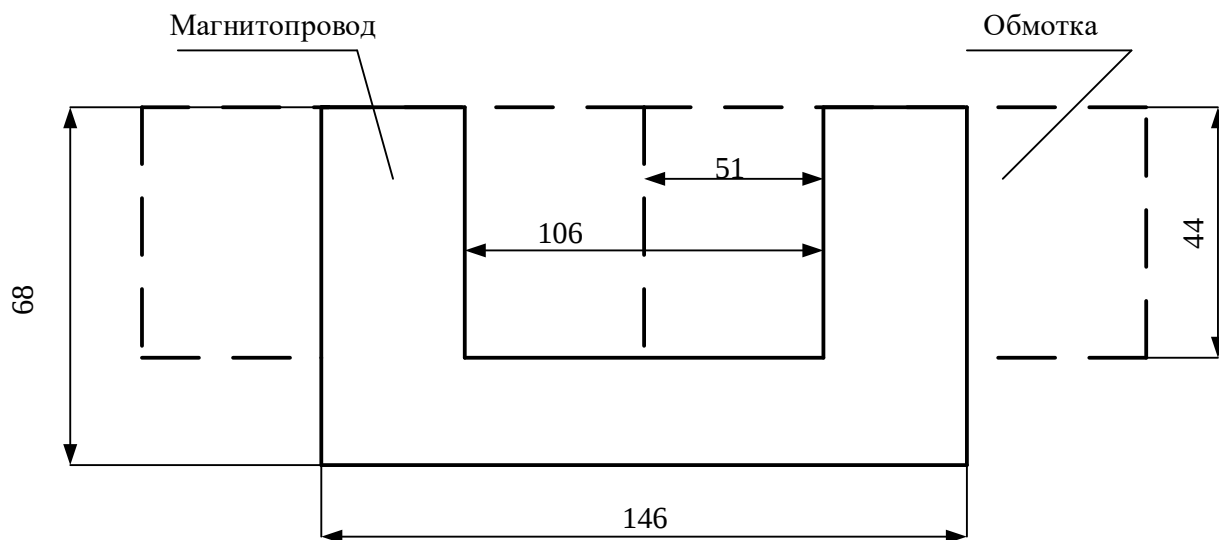


Рисунок 1.1.4 Магнитопровод с обмотками

Магнитопровод с обмоткой (вид сверху)

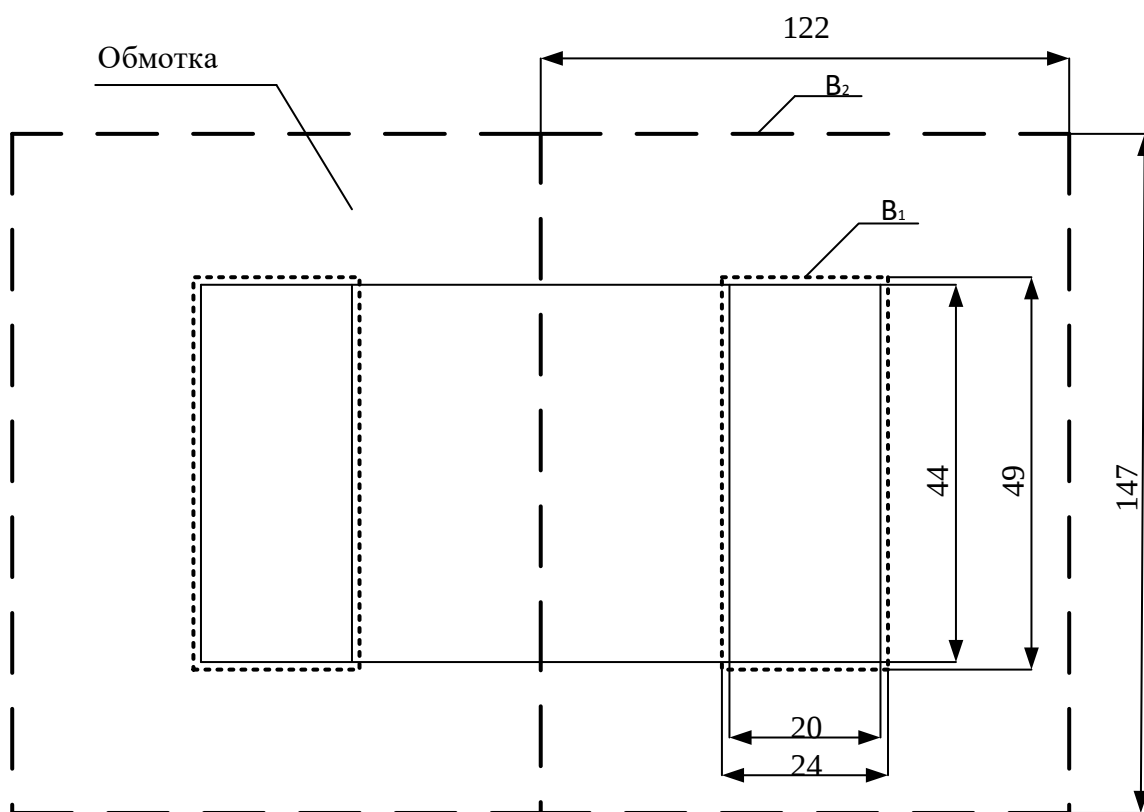


Рисунок 1.1.5 Магнитопровод с обмотками

Из технологических соображений выбираем обмоточный провод диаметром 1,5 мм марки ПЭТВ

Находим площадь окна магнитопровода для заполнения обмоточным проводом .

$$S_{\text{окна}} = 44 * 51 = 2244 \text{ мм}^2 \quad (1.1.6)$$

Рассчитаем внутренний диаметр катушки

$$B_1 = (24 + 49) * 2 = 146 \text{ мм} \quad (1.1.7)$$

Рассчитаем наружный диаметр катушки

$$B_2 = (122 + 147) * 2 = 538 \text{ мм} \quad (1.1.8)$$

Рассчитаем среднюю длину витка обмотки

$$L_{\text{ср}} = \frac{B_1 + B_2}{2} = \frac{146 + 538}{2} = 342 \text{ мм} \quad (1.1.9)$$

Число витков обмотки в окне магнитопровода

$$W = \frac{S_{\text{окна}} * 4}{\pi * D^2} * K_3 = \frac{2244 * 4}{3.14 * 1,5^2} * 0.7 = 888 \text{ витков} \quad (1.1.10)$$

где: $S_{\text{окна}}$ – площадь окна магнитопровода;

D – диаметр обмоточного провода.

Рассчитаем сечение обмоточного провода

$$S_{\text{кр}} = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{3.14 * 1,5^2}{4} = 1.77 \text{ мм}^2 \quad (1.1.11)$$

Рассчитаем сопротивление катушки

$$r = \rho * \frac{L_{\text{ср}} * N}{S_{\text{кр}}} = 0.0175 * \frac{0.342 * 888}{1.77} = 3.01 \text{ Ом} \quad (1.1.12)$$

где: ρ – удельное электрическое сопротивление меди;

Рассчитаем индуктивность

$$L = \frac{\mu_{\text{элст}} * \mu_0 * S * w^2}{\frac{2 * l_{\text{маг}} + X_0 * \mu_{\text{элст}}}{\delta}} = \frac{4000 * 1.26 * 10^{-6} * 900 * 10^{-6} * 888^2}{\frac{2 * 0.242 + 0.005 * 4000}{1.5}} = 0.26192 \text{ Гн} \quad (1.1.13)$$

где: w – число витков катушки;

S – площадь поперечного сечения сердечника;

μ_0 – магнитная проницаемость вакуума;

$\mu_{\text{элст}}$ – магнитная проницаемость электротехнической стали;

χ_0 – начальный воздушный зазор;

δ - коэффициент рассеивания в зазоре.

$l_{\text{маг}}$ – длина магнитного пути.

При работе МВО происходит образование затопленных струй. 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. Буровой раствор, 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 ВСМАР в различных жидкостях сопротивление движению активатора будет изменяться, при этом необходимо регулировать частоту питающего напряжения, для обеспечения резонансного режима. Регулирование частоты питающего напряжения можно осуществлять с помощью преобразователя частоты.

При настройке работы МВО важно обеспечить колебания 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 большей амплитуде колебаний активатора чем начальный

зазор, активатор будет стучать по стенке МВО, что приведет 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 приготовления буровых растворов

Расчетная схема и основные конструктивные размеры активных частей МВО, приведены на рисунке 1.1.6 и в таблице 1.1.1

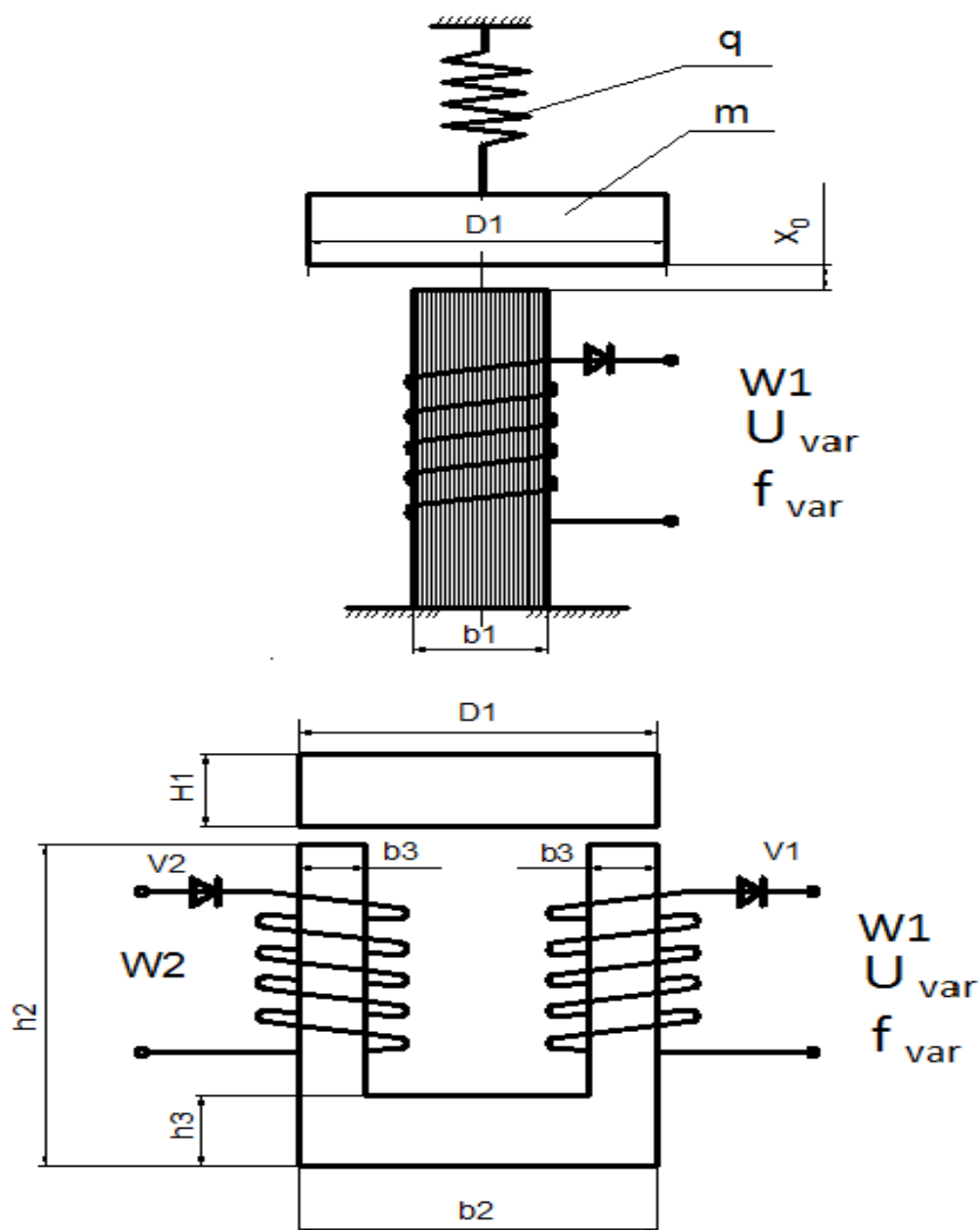


Рисунок 1.1.6 Расчётная схема единичного МВО

Так как магнитопровод жёстко связан с корпусом устройства, то колебания совершает активатор. Геометрические размеры активатора и магнитопровода указаны в таблице 1.1.1 (параметры для одного элемента МВО).

Таблица 1.1.1 – Основные размеры МВО

Параметр	Обозначение	Величина
Диаметр активатора, м	D1	0,15
Высота (толщина) активатора, м	H1	0,025
Высота стержня индуктора магнитопровода, м	h2	0,06
Длина спинки индуктора магнитопровода, м	b2	0,107
Ширина индуктора магнитопровода (полюса), м	b1	0,036
Ширина стержня индуктора (полюса), м	b3	0,017
Толщина спинки индуктора магнитопровода, м	h2	0,02
Величина начального воздушного зазора, м	X ₀	0,005
Частота собственных колебаний системы, Гц	f ₀	62
Резонансная частота в жидкости, Гц	f _{рж}	53

ГЛАВА 2. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АКТИВАЦИИ МВО. СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ ВИБРОАКТИВАТОРА.

2.1 Расчет производительности устройства ВСМАР.

Объём пространства активации бурового раствора определяется размерами и амплитудой колебаний активатора. При каждом движении активатора по направлению к стенке электромагнитного преобразователя (ЭМП) объём жидкости, находящейся в пространстве активации **1-2-3-4-5-6-7-8**, 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 трапецевидальной формой щели в активаторе.

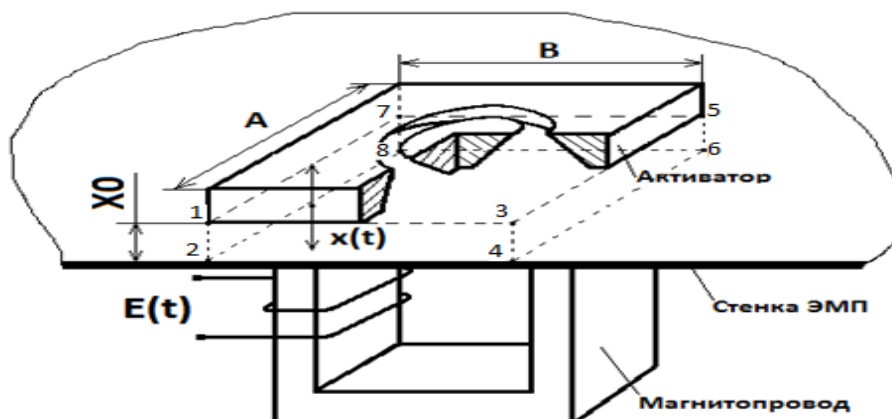


Рисунок 2.1.1 Принцип активации (диспергации) бурового раствора резонансным устройством ВСМАР

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:

$$Q = S_{\text{захв}} \cdot x \cdot f, \quad (2.1.1)$$

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

f – частота колебаний активатора.

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

$$S_{\text{захв}} = k \cdot S_{\text{осн}}, \quad (2.1.2)$$

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

k – коэффициент захвата.

Коэффициент k учитывает то обстоятельство, что не вся Буровой раствор, 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 ВСМАР 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 будет определяется как

$$Q_N = Q \cdot N \quad (2.1.4)$$

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

$$Q_{Nx} = Q_N \cdot \left(\frac{x}{x_0}\right)^2, \quad (2.1.5)$$

где: x – амплитуда колебаний активатора ЭМП;

x_0 – начальный зазор между активатором и стенкой ЭМП.

Амплитуда колебаний активатора, которую можно определить из общего уравнения движения (2.1.6) ЭМП, зависит от возмущающей силы и механического сопротивления движению активатора.

$$M_\Sigma \frac{d^2x}{dt^2} + R_m \frac{dx}{dt} + qx = F(t), \quad (2.1.6)$$

где: M_Σ – колебательная масса,

R_m – механическое сопротивление,

q – жесткость,

$F(t)$ – возмущающая сила.

Механическое сопротивление R_m при колебаниях активатора в буровом растворе по мере его приготовления 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} . Определённое влияние на турбулентность течения раствора 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 $\lambda_\phi=1,3$, для активатора круглой формы.

Отмеченные закономерности изменений сопротивления представим в виде:

$$R_m(v) = R_{m0} \cdot \lambda_\phi \cdot e^{\frac{v}{V}}, \quad (2.1.7)$$

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.

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

$$S_{захв} = k \cdot S_{осн} = 1,767 \cdot 10^{-2} \quad (2.1.8)$$

где: $S_{осн} = \pi \cdot r_{экв}^2 = 1,767 \cdot 10^{-2}$ площадь основания формы круглого активатора,

$r_{экв} = 0,075$ м - радиус активатора эквивалентный

Расход жидкости, формирующийся затопленными струями активаторов круглой формы Q_{Nx} с размерностью м³/ч, в этом случае при максимальной амплитуде колебаний и начальном зазоре между стенкой ЭМП и активатором $X_0 = 0,005$ мм можно определить как

$$Q_{Nx} = x \cdot \left(\frac{x}{X_0}\right)^2 \cdot S_{захв} \cdot f \cdot 3600 = 24 \text{ м}^3/\text{час} \quad (2.1.9)$$

Производительность активации (обработки) различных жидкостей по данным многочисленных исследований зависит от количества циклов обработки порций жидкости, проходящей через зону активации. Таких циклов должно быть не менее 10. В таком случае производительность устройств активации будет определяться выражением

$$S_{\text{акт}} = \frac{Q_{Nx}}{10}, \quad (2.2.9)$$

Учитывая, что производительность активации определяется десятой долей от удельного объёма прокачивания жидкости через активатор, расчётное значение производительности активации одного МВО при использовании круглого активатора можно оценить на уровне не более 2,4 м³/час.

По данному значению производительности активации, учитывая требование обеспечения производительности всего устройства не менее 10 м³/час, можно определить необходимое количество МВО. Расчёты показывают, что для обеспечения заданной в работе производительности устройства для приготовления буровых растворов необходимо использовать не менее 5 МВО. Для дальнейших расчетов и конструирования устройства принимаем количество МВО 6 штук.

2.2 Разработка схемы подключение виброактиватора

Виброактиватор можно подключить как на однофазную сеть, так и на трехфазную. Учитывая влияние, качество напряжение сети на работу виброактиватора разработаем схему подключение. На рисунках 2.2.1 и 2.2.2 представлены схемы подключения виброактиватора.

Последовательное подключенных катушек **L1A**, **L1B** дает знать о наличии одного модуля МВО.

Однофазная схема питания виброактиватора приводит к повышению полного тока, и падению напряжения сети.

Полный ток МВО будет равным:

$$I_{\text{полный}} = I_{\text{max}} \cdot n, \quad (2.2.1)$$

где: I_{max} - максимальный ток, протекающий в обмотке катушки;

n – общее число модулей в установке, $n = 6$.

Если отсутствует трехфазная сеть, то предусматривается однофазное подключение виброактиватора,

При подключении трехфазной схемы питания обеспечивается одинаковая нагрузка во всех трех фазах. Снижение токовых номиналов вводной защиты аппаратуры и сечения вводного кабеля.

Поэтому, учитывая шести МВО подключаем схемы электропитания с использованием трёхфазной системы, что даёт равномерную нагрузку на промышленную сеть.

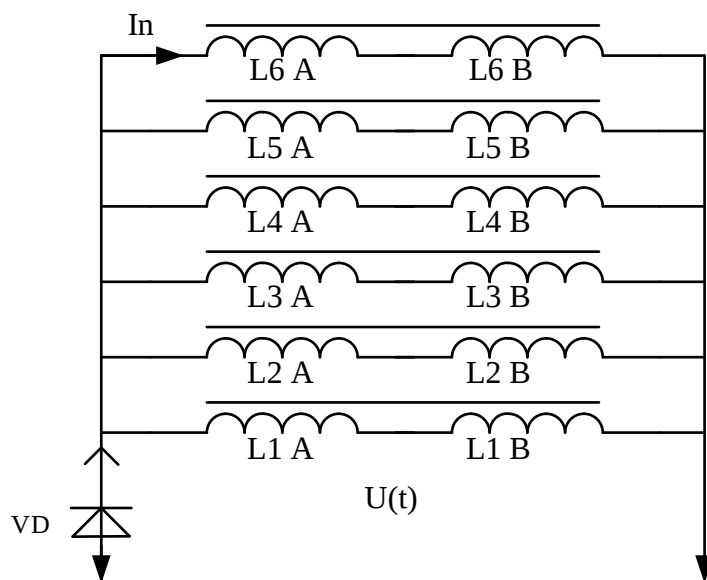


Рисунок 2.2.1 – Однофазная схема подключение виброактиватора

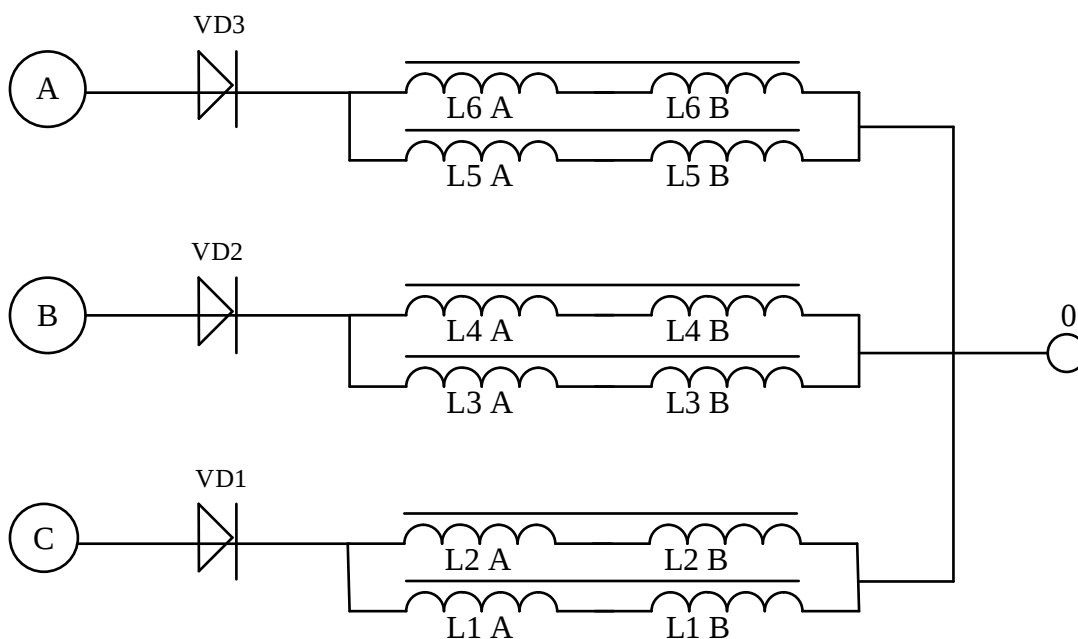


Рисунок 2.2.2 – Трёхфазная фазная схема подключение виброактиватора.

- VD1-VD3 – диоды;
- L1A – L16A, L1B – L16B – катушки индуктивности МВО.

Наличие диода является важным моментом при разработке схемы питания МВО. При подключении в схему питания диода позволяет создать колебания активаторов виброактиватора на частоте 50 Гц с максимальной амплитудой с достаточно удалённой зоной действия.

Фазные токи МВО будут равны фазным токам $I_{\phi 1}$, $I_{\phi 2}$ и $I_{\phi 3}$

Полный ток фазы, *A*

$$I_{\phi A} = I_{\max} \cdot n, \quad (2.2.2)$$

Полный ток фазы, *B*

$$I_{\phi B} = I_{\max} \cdot n, \quad (2.2.3)$$

Полный ток фазы, *C*

$$I_{\phi C} = I_{\max} \cdot n, \quad (2.2.4)$$

2.3 Конструирование установки ВСМАР для приготовления буровых растворов

Определив основные размеры МВО и их количество, обеспечивающее заданную производительность приготовления бурового раствора, разработаем конструкцию установки. На рис. 2.3.1 приведена конструкция виброактиватора

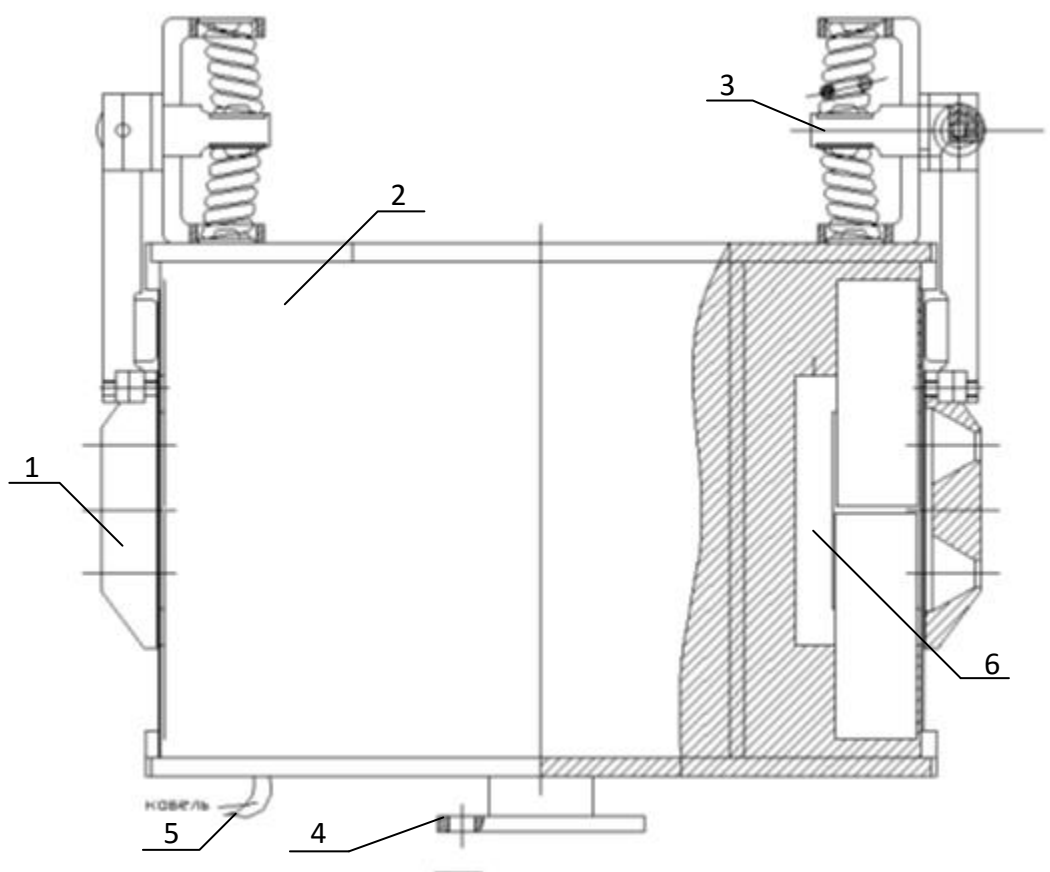


Рисунок 2.3.1. Виброактиватор

Виброактиватор состоит из 6 основных частей:

- 1 – активатор, 6 шт.
- 2 – корпус
- 3 – пружинный подвес, 6 шт.
- 4 – фланец крепления установки на ёмкости приготовления бурового раствора
- 5 – кабельный ввод электропитания
- 6 – электромагнит

Активатор круглой формы 1 изготовлен из цельной стальной заготовки, закреплён на длинном плече рычага. Предназначен для непосредственного воздействия на раствор.

Корпус виброактиватора 2 изготовлен из трубы диаметром 426 мм. Герметичный. Предназначен для размещения электромагнита 6 в объёме, изолированном от воздействия раствора. А также для крепления пружинных подвесов 3.

Пружинный подвес 3 состоит из кронштейна и цилиндрических пружин сжатия и служит для возвращения силы колебательной системе.

Фланец крепления установки 4 служит для крепления виброактиватора в емкости.

Кабель служит для подключения нашего виброактиватора к эклектической цепи.

Электромагнит 6 предназначен для создания возмущающей силы в колебательной системе.

ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВСМАР

3.1 Расчет параметров механической части при резонансе на частоте 50 Гц

Схема замещения механического части МВО ВСМАР приведена на Рис. 3.1.1.

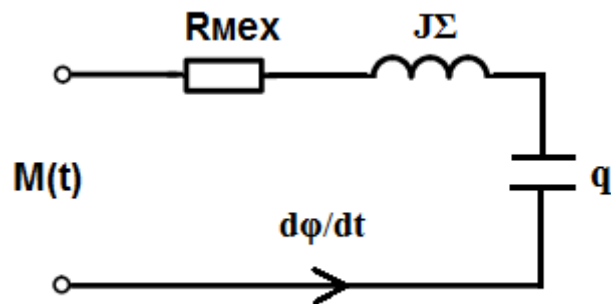


Рисунок 3.1.1 - Схема замещения механического контура

Принимая во внимание, что колебания активатора практически совершаются в вертикальной плоскости уравнение движения активатора можно записать с определёнными допущениями в виде

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} + R \frac{dx}{dt} + Cx = F_0 \sin \omega_B t, \quad (3.1.1)$$

где: M - масса подвижных элементов, кг;

R - сопротивление вязких потерь, Н*с/м;

C - жёсткость подвеса, Н/м;

x - амплитуда вертикальных колебаний, м;

F_0 - амплитуда возмущающей силы, Н;

ω_0 - частота возмущающей силы, с^{-1} .

Так же принимаем во внимание что активатор совершает колебания с определенным присоединённым объемом жидкости, который тоже имеет свою массу (2.1.3).

$$M = M_{\text{акт}} + Q_{\text{кр}} \quad (3.1.2)$$

По данным приведённым ранее $M_{\text{акт}} = 2,09$ кг, $Q_{\text{кр}} = 1,125$ кг,

$C = 317.170 \cdot 10^{-3}$ Н/м.

3.2 Расчет параметров электрической части.

Электрическая часть МВО представляет собой главный и два короткозамкнутых (КЗ) контура. КЗ контура образованы пластиной из нержавеющей стали, разделяющей внутреннюю полость вибратора от внешней среды. Основной электрический контур включает в себя два последовательно включенных электромагнита (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. В этом случае величина коэффициента жесткости, определяемая по выражению (1.1.5) будет достаточно большой. Технологически изготовить цилиндрическую пружину с высокими значениями коэффициента жёсткости представляется не всегда практически возможным. Использование в схеме диода VD позволило обеспечить частоту возмущающей силы 50 Гц при частоте питающего напряжения 50 Гц.

Короткозамкнутый контур, создаваемый конструктивными элементами МВО, на схеме замещения представлен индуктивностью $L_{кз}$ и активным сопротивлением $R_{кз}$. Следует отметить, что при наличии двух полюсов электромагнита, схема замещения должна включать в себя два КЗ контура.

Так как КЗ контуры идентичны друг другу, учтем удвоенное влияние одного КЗ контура.

Расчетная схема замещения электрической части ЭМП представлена на рисунке 3.2.1.

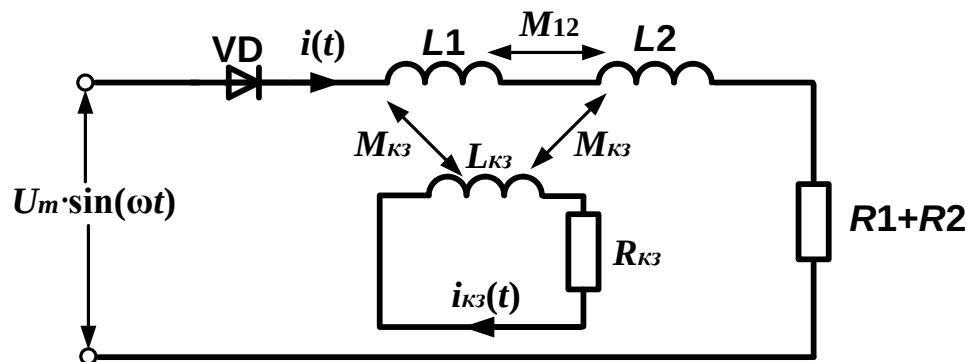


Рисунок 3.2.1 – Схема замещения электрической части ЭМП

На схеме L_1, L_2 – индуктивности обмоток; R_1, R_2 – активные сопротивления обмотки; M_{12} – взаимная индуктивность между обмотками; $L_{кз}, R_{кз}$ – индуктивность и активное сопротивление короткозамкнутого контура соответственно; $M_{кз}$ – взаимная индуктивность между короткозамкнутым контуром и обмотками.

Определим параметры электрической системы ЭМП.

Активные сопротивления обмотки равна 3.01 Ом (1.1.12)

Активное сопротивление КЗ контура принимаем:

$$R_{кз} = 0,005 \text{ Ом.}$$

Индуктивность катушек рассчитана ранее (1.1.13)

Индуктивность короткозамкнутого витка:

$$L_{кз} = L_{кз1} = L_{кз2} = \frac{\mu_{элст} * \mu_0 * S * w_{кз}^2}{2 * l_{маг} + X_0 * \mu_{элст} \delta} \quad (3.2.1)$$

где: $W_{кз} = 1$ – число витков короткозамкнутом контуре.

Для определение диапазона изменения указанных значений рассчитаем параметры электрического контура для начального зазора.

Рассчитаем значений индуктивности основного контура L_1, L_2 , для начального зазора:

$$L_k = L_1 = L_2 = \frac{\mu_{элст} * \mu_0 * S * w^2}{\frac{2 * l_{маг} + X_0 * \mu_{элст}}{\delta}}$$

$$= \frac{4000 * 1.26 * 10^{-6} * 900 * 10^{-6} * 888^2}{\frac{2 * 0.242 + 0.005 * 4000}{1.5}}$$

$$L_k = L_1 = L_2 = 0.26192 \text{ Гн} \quad (3.2.1)$$

где: S – площадь поперечного сечения сердечника определяется формулой:

$$S = 20 * 10^{-3} * 45 * 10^{-3} = 900 * 10^{-6} \quad (3.2.3)$$

$l_{маг}$ – длина магнитопровода вычисляем:

$$l_{маг} = (68 - 20) * 2 + 146 = 0.242 \text{ м} \quad (3.2.4)$$

Взаимоиндуктивность катушек при начальном зазоре:

$$M = \frac{\mu_{элст} * \mu_0 * S * w_1 * w_2}{\frac{2 * l_{маг} + X_0 * \mu_{элст}}{\delta}} = \frac{4000 * 1.26 * 10^{-6} * 900 * 10^{-6} * 1776^2}{\frac{2 * 0.242 + 0.005 * 4000}{1.5}} = 0.26192 \text{ Гн} \quad (3.2.5)$$

3.3 Уравнение движения механической части ЭМП

Дифференциальное уравнение, описывающее колебания, для механической части электромеханического преобразователя при линейных перемещениях якоря:

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + R \cdot \frac{dx}{dt} + q \cdot x = F(t) \quad (3.3.1)$$

где: m – масса якоря;

R – коэффициент демпфирования (механическое сопротивление);

Электромагнитная сила притяжения активатора к полюсам магнитопровода $F(t)$;

$$F(t) = \mu_0 * S_m * \frac{H(t)}{(X_0 - x)^2} \quad (3.3.2)$$

где: μ_0 – магнитная проницаемость вакуума;

S_m – площадь магнитопровода;

$H(t)$ – намагничивающая сила обмоток;

x – изменяемый зазор.

3.4 Система уравнений виброактиватора

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

3.4.1 Уравнение для электрических контуров

Уравнение для основного контура определяется по формуле

$$U_m \sin \omega t = i_k + R_k + \frac{d\psi_\Sigma}{dt}, \quad (3.4.1)$$

где: ψ_Σ – суммарное потокосцепление катушек $L1, L2$

i_k – ток протекающий в основном контуре;

R_k – Активное сопротивление основного контура.

ψ_Σ – суммарное потокосцепление, будет, имеет вид:

$$\psi_\Sigma = \psi_1 + \psi_2, \quad (3.4.2)$$

ψ_1 – суммарное потокосцепление катушки $L1$, представляющее собой сумму потокосцеплений данной обмотки, определяемую собственной индуктивностью и всеми возможными взаимоиндуктивными связями.

ψ_2 – суммарное потокосцепление обмотки $L2$, представляющее собой сумму потокосцеплений данной обмотки, определяемую собственной индуктивностью и всеми возможными взаимоиндуктивными связями.

ψ_1 суммарное потокосцепление катушки $L1$ определяется как:

$$\Psi_1 = \Psi_{\text{соб.инд1}} + \Psi_{\text{в.инд1}} + \Psi_{\text{в.инд.K1}}, \quad (3.4.3)$$

где:

$\Psi_{\text{соб.инд1}} = i_{\kappa} \cdot L_1$, - собственное потокосцепление обмотки **L1**;

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

$\Psi_{\text{в.инд.K}} = i_{\kappa 3} \cdot M_{1\kappa 31}$ - потокосцепление с короткозамкнутым контуром;

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

$$\Psi_2 = \Psi_{\text{соб.инд2}} + \Psi_{\text{в.инд2}} + \Psi_{\text{в.инд.K2}}, \quad (3.4.4)$$

где:

$\Psi_{\text{соб.инд2}} = i_{\kappa} \cdot L_2$, - собственная потокосцепление обмотки **L2**;

$\Psi_{\text{в.инд1}} = i_{\kappa} \cdot M_{12}$, - взаимная потокосцепление обмотки **L1, L2**;

$\Psi_{\text{в.инд.K}} = i_{\kappa 3} \cdot M_{1\kappa 32}$, - взаимная потокосцепление с короткозамкнутым контуром;

Перепишем уравнение 5.15

$$U_m \sin \omega t = i_{\kappa} + R_{\kappa} + \frac{d\Psi_1}{dt} + \frac{d\Psi_2}{dt}, \quad (3.4.5)$$

где: потокосцепление Ψ_1, Ψ_2 будут равны:

$$\frac{d\Psi_1}{dt} = \frac{\Psi_{\text{соб.инд1}}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд1}}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд.K1}}}{dt} = \frac{i_{\kappa} \cdot L_1}{dt} + \frac{i_{\kappa} \cdot M_{12}}{dt} + \frac{i_{\kappa} \cdot M_{1\kappa 31}}{dt}, \quad (3.4.6)$$

$$\frac{d\Psi_2}{dt} = \frac{\Psi_{\text{соб.инд2}}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд2}}}{dt} + \frac{\Psi_{\text{в.инд.K2}}}{dt} = \frac{i_{\kappa} \cdot L_2}{dt} + \frac{i_{\kappa} \cdot M_{12}}{dt} + \frac{i_{\kappa} \cdot M_{1\kappa 32}}{dt}, \quad (3.4.7)$$

Используя выражение 3.4.6, 3.4.7 получим общую расчетную формулу:

$$\begin{aligned} Um \cdot \sin(\omega t) = & i_{\kappa} \cdot R_{\kappa} + \\ & + i_{\kappa} \left(\frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 31}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 32}}{dt} \right) + \\ & + \frac{di_{\kappa}}{dt} (L_1 + L_2 + M_{12} + M_{21} + M_{1\kappa 31} + M_{1\kappa 32}); \end{aligned} \quad (3.4.8)$$

Упростим уравнение (3.4.8), заменив дифференциал произведение на суммы двух дифференциалов:

$$\begin{aligned}
 Um \cdot \sin(\omega t) &= Um \cdot \sin(\omega t) - i_{\kappa} \cdot R_{\kappa} - \\
 &- i_{\kappa} \cdot (L_1 + L_2 + M_{12} + M_{21} + M_{\kappa 1-1} + M_{\kappa 2-1} + M_{\kappa 2-2} + M_{\kappa 1-2}) = \\
 &= \frac{di_{\kappa}}{dt} \left(\frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 1}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 2}}{dt} \right);
 \end{aligned} \tag{3.4.9}$$

Сгруппируем однородные члены выражения 3.4.9 для составления системы уравнений основного контура.

$$\frac{di_{\kappa}}{dt} = \frac{Um \cdot \sin(\omega t) - 2i_{\kappa} \cdot R_{\kappa} - i_{\kappa} \left(\frac{dL_1}{dt} + \frac{dL_2}{dt} + \frac{dM_{12}}{dt} + \frac{dM_{21}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 1}}{dt} + \frac{M_{1\kappa 2}}{dt} \right)}{L_1 + L_2 + M_{12}}, \tag{3.4.10}$$

Уравнение для короткозамкнутого контура

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

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 :

$$\frac{i_{\kappa 3}}{dt} = \frac{-i_{\kappa 3} \cdot R_{\kappa 3} - i_{\kappa 3} \left(\frac{L_{\kappa 3}}{dt} + \frac{M_{\kappa 3 1 \kappa 3 2}}{dt} + \frac{M_{1 \kappa 3 1}}{dt} + \frac{M_{1 \kappa 3 2}}{dt} \right)}{L_{\kappa 3}}, \tag{3.4.11}$$

3.5 Система уравнения работы виброактиватора

Система уравнения работы виброактиватора, приведенная ниже, составлена из уравнений электрических контуров виброактиватора и уравнений механического контура.

$$\frac{di_K}{dt} = \frac{Um - 2i_K \cdot \left(R_K + L_K \cdot y + M_{12} \cdot y - 4 \frac{M_{1K2}}{L_K} \cdot M_{1K31} \cdot y \right) - 4 \cdot i_{K3} \left(M_{1K31} \cdot y - \frac{M_{1K2}}{L_K} \cdot R_{K3} \right)}{2 \cdot L_K + M_{12}}, \quad (3.5.1)$$

$$\frac{di_{K3}}{dt} = \frac{i_{K3} \cdot \left(R_{K3} - 4 \frac{M_{K32}}{L_K + M_{12}} \cdot M_{K31} \cdot y \right) - \frac{M_{K32}}{L_K + M_{K32}} \cdot Um - 2 \cdot i_K \cdot \left[M_{12} \cdot y - \frac{M_{K32}}{L_K} \cdot (R_{K3} + L_K \cdot y + M_{12} \cdot y) \right]}{L_{K3}}, \quad (3.5.2)$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{F(t) - R \cdot y - q \cdot x}{m}, \quad (3.5.2)$$

ГЛАВА 4. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВИБРАТОРА

Система дифференциальных уравнений не может быть решена аналитическими методами, поэтому для расчёта режимов работы ЭМП по приведенной системе уравнений воспользуемся численным методом решения дифференциальных уравнений - методом Рунге-Кутты четвертого порядка Алгоритм расчёта системы уравнений.

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

$$\begin{pmatrix} t_{i+1} \\ l_{i+1} \\ l_{k_{i+1}} \\ y_{i+1} \\ x_{i+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} t_i + h \\ \text{if} \left(l_i + K(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \geq 0, l_i + K(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i), 0 \right) \\ l_{k_i} + M(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \\ y_i + S(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \\ \text{if} \left(x_i + C(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \geq X_0, X_0, x_i + C(t_i, l_i, l_{k_i}, x_i, y_i) \right) \end{pmatrix}$$

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.

Расчёт будем производить при изменении следующих параметров работы ЭМП, учитываемых соответствующими коэффициентами в системе уравнений:

U_m – амплитуда питающего напряжения

f – частота питающего напряжения;

R – механическое сопротивление, кг/с·рад;

$P_{\text{ж}}$ – плотность жидкости

X_0 – начальный зазор

k – жесткость (пружинного подвеса).

Механические потери, сопровождаемые работу резервуарного ЭМП, исходя из уравнения движения электропривода, определяется численным значением $R_{\text{мех}}$ второго члена уравнения (2.1.6). Численные значение данного параметра, как сопротивления, определяются характеристиками и состоянием бурового раствора и могут изменяться в широких пределах. В разжиженном состоянии буровой раствор имеет наименьшую вязкость и

соответственно, меньшее значение $R_{\text{мех}}$. В состоянии, когда начинается приготовление бурового раствора, механическое сопротивление имеет максимальное значение. Причём определить его конкретное численное значение в этих условиях практически невозможно. Максимальное значение механического сопротивления при расчётах режимов работы ЭМП определим значениями, как минимум, на порядок выше, чем минимальное. Важным моментом при настройке ЭМП является выбор начального зазора. Экспериментально установлено, что предпочтительным начальным углом расположения активатора относительно магнитопровода является начальный зазор 5 (4) мм.

Основным допущением при решении системы уравнений является условие, что коэффициенты уравнений при заданных режимах работы являются постоянными. Кроме этого, учитывая полную электрическую аналогию блоков виброобработки и их параллельное включение к источнику питания, расчёт целесообразно провести на примере одного модуля.

4.1 Работа ЭМП при изменении механического сопротивления

Анализ работы устройства приготовления (обработки) бурового раствора целесообразно провести для различных значений механического сопротивления $R_{\text{мех}}$ и при различных плотностях бурового раствора, что определяется требованиями осуществления конкретных технологических операций, проводимых при бурении скважин. Изменение механического сопротивления $R_{\text{мех}}$ будем задавать в пределах от 250 до 1250 кг/с, что охватывает практически весь возможный диапазон изменения свойств бурового раствора, определяемых вязкостью. Неизменными параметрами при построении частотных характеристик, полученных по математической модели являются $U=p*f=\text{var}$, $x_0=0,005=\text{const}$

Таблица 4.1.1. Работа диспергатора при следующих параметрах:
 $U=p*f=\text{var}$, $R_{\text{мех}}=250=\text{const}$, $x_0=0,005=\text{const}$.

f, Гц	0	45	50	55	60	65	70
x, мм	2,8	4,2	4,4	2,1	1,7	0,7	0,5
I, А	1,25	1,83	2,3	1,5	1,3	1,3	1,3

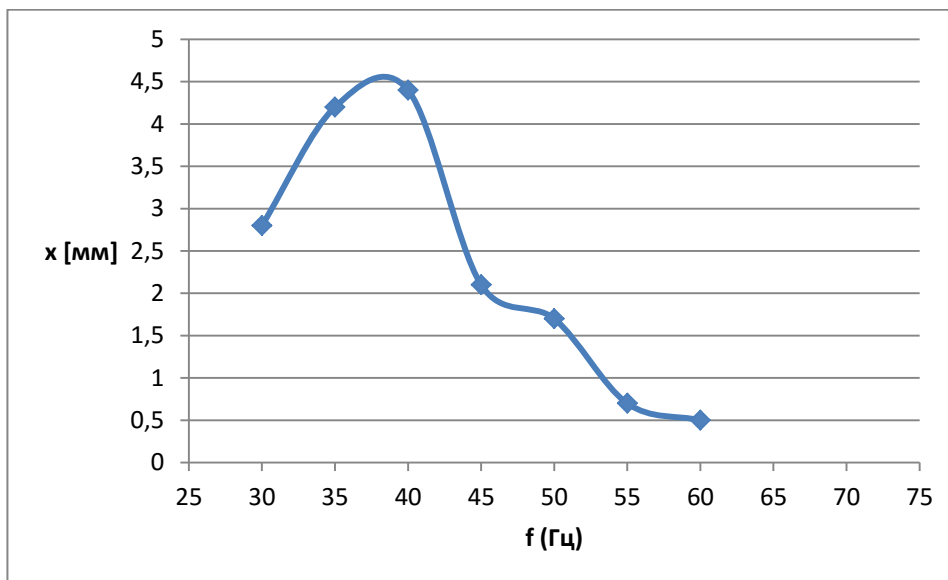


Рисунок 4.1.1 Зависимость амплитуды колебаний от частоты при $U=p \cdot f = \text{var}$, $R_{\text{мех}} = 250 = \text{const}$, $x_0 = 0,005 = \text{const}$.

Из рисунка 4.1.1 видно что максимальная амплитуда колебаний при механическом сопротивлении равным 250 кг/с достигается при частоте 40 Гц.

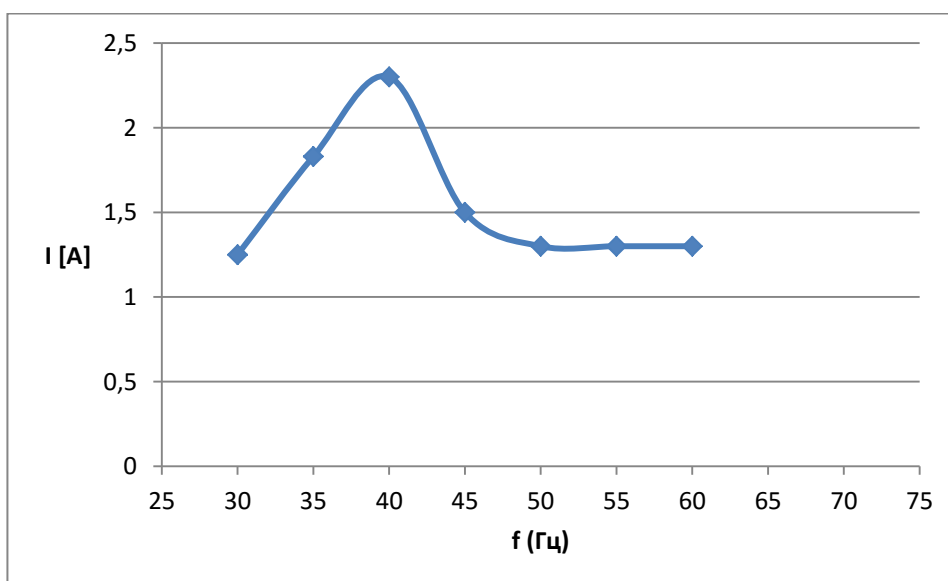


Рисунок 4.1.2. Зависимость действующего тока от частоты при

$$U=p*f=var, R_{mex}=250=const, x_0=0,005=const.$$

Из рисунка 4.1.2. видно что при увеличении частоты действующий ток сначала увеличивается, а потом уменьшается. Выявленная закономерность обусловлена тем, что при изменении частоты от минимального значения до 50 Гц индуктивное сопротивление снижается в меньшей степени, чем е.д.с само- и взаимоиндукции.

Таблица 4.1.2. Работа диспергатора при следующих параметрах:
 $U=p*f=var, R_{mex}=500=const, x_0=0,005=const.$

f, Гц	30	35	40	45	50	55	60	65	70
x, мм	0,7	0,7	0,9	1,04	1,06	0,9	0,7	0,6	0,5
I, А	1,23	1,2	1,2	1,28	1,32	1,36	1,37	1,36	1,35

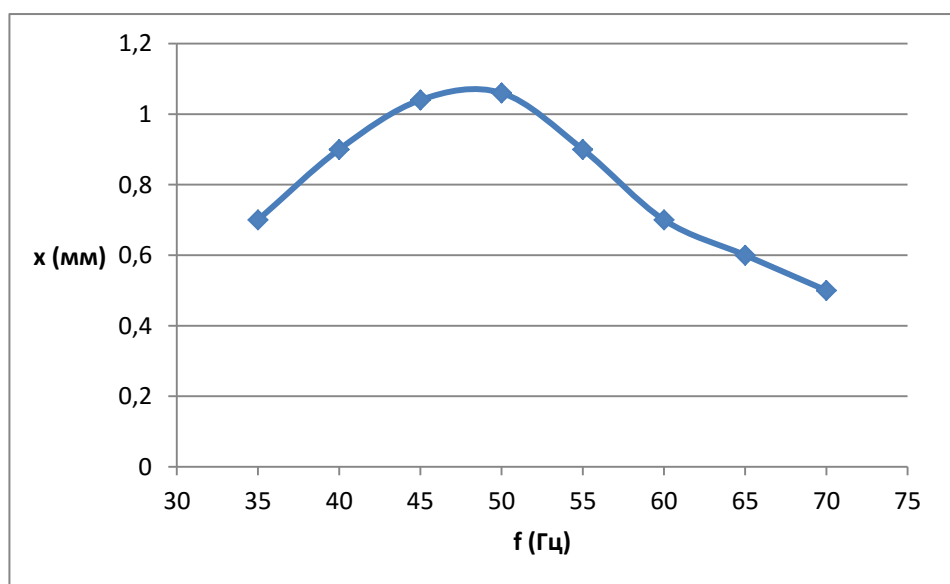


Рисунок 4.1.3. Зависимость амплитуды колебаний от частоты при
 $U=p*f=var, R_{mex}=500=const, x_0=0,005=const.$

Из рисунка 4.1.3. видно что максимальная амплитуда колебаний при механическом сопротивлении равным 500 кг/с достигается при частоте 50 Гц.

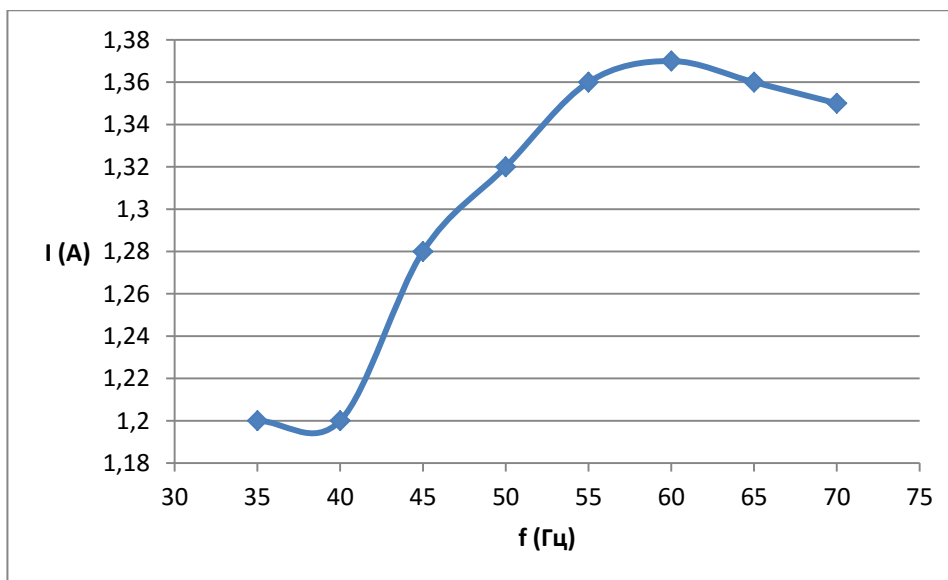


Рисунок 4.1.4. Зависимость действующего тока от частоты при $U=p*f=var$, $R_{mex}=500=const$, $x_0=0,005=const$.

Из рисунка 4.1.4. видно что при увеличении частоты действующий ток увеличивается.

Таблица 4.1.3. Работа диспергатора при следующих параметрах: $U=p*f=var$, $R_{mex}=750=const$, $x_0=0,005=const$, $\rho=1000=const$.

f, Гц	30	35	40	45	50	55	60	65	70
x, мм	0,64	0,66	0,69	0,69	0,66	0,62	0,58	0,52	0,48
I, А	1,23	1,25	1,27	1,29	1,32	1,33	1,34	1,35	1,35

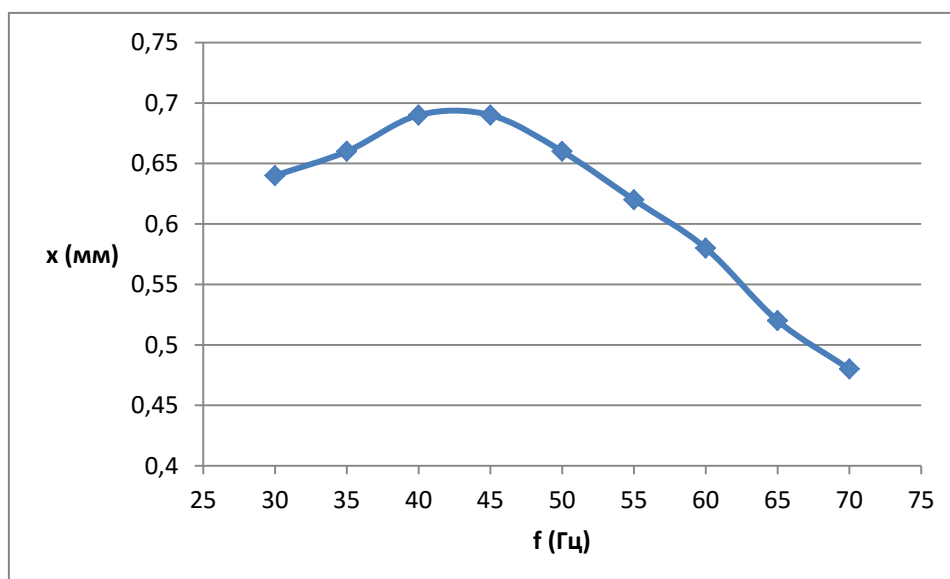


Рисунок 4.1.5. Зависимость амплитуды колебаний от частоты при $U=p \cdot f = \text{var}$, $R_{\text{мех}}=750=\text{const}$, $x_0=0,005=\text{const}$.

Из рисунка 4.1.5 видно что максимальная амплитуда колебаний при механическом сопротивлении равным 750 кг/с достигается при частоте 40 и 45 Гц.

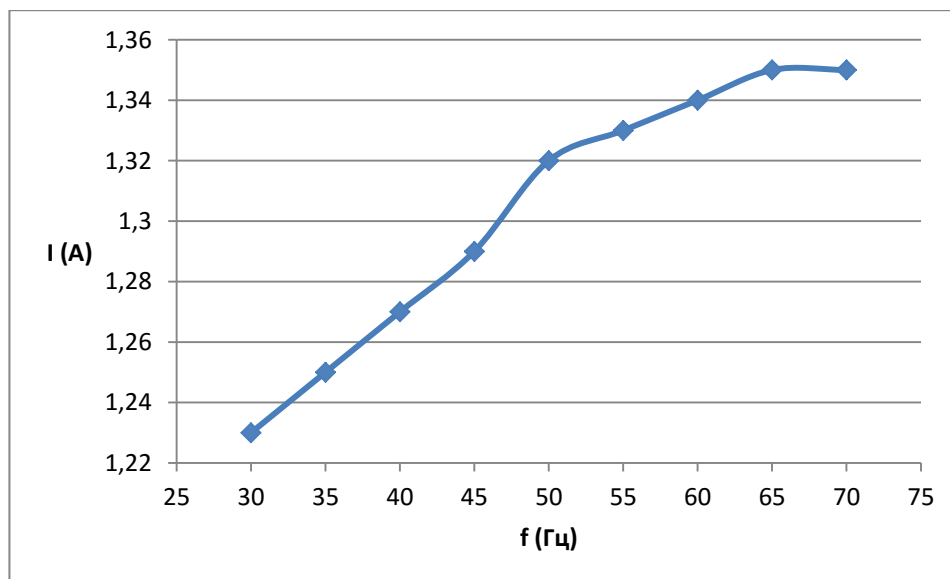


Рисунок 4.1.6. Зависимость действующего тока от частоты при $U=p \cdot f = \text{var}$, $R_{\text{мех}}=750=\text{const}$, $x_0=0,005=\text{const}$.

Из рисунка 4.1.6 видно что при увеличении частоты действующий ток увеличивается.

Таблица 4.1.4. Работа диспергатора при следующих параметрах: $U=p \cdot f = \text{var}$, $R_{\text{мех}}=1000=\text{const}$, $x_0=0,005=\text{const}$, $\rho=1000=\text{const}$.

f, Гц	30	35	40	45	50	55	60	65	70
x, мм	0,56	0,57	0,56	0,55	0,53	0,51	0,48	0,46	0,44
I, А	1,23	1,26	1,28	1,3	1,31	1,32	1,33	1,34	1,34

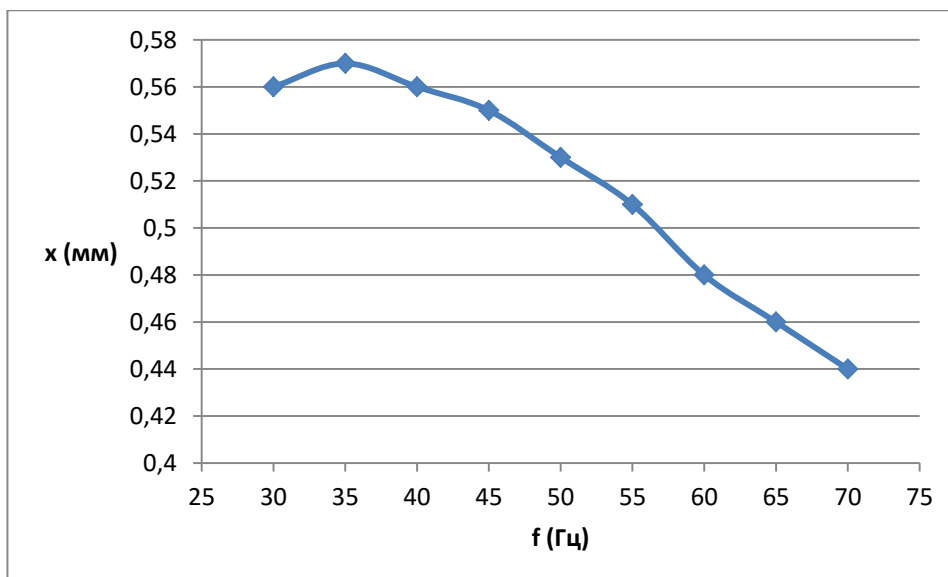


Рисунок 4.1.7. Зависимость амплитуды колебаний от частоты при $U=p*f=var$, $R_{мех}=1000=const$, $x_0=0,005=const$.

Из рисунка 4.1.7. видно что максимальная амплитуда колебаний при механическом сопротивлении равным 1000 кг/с достигается при частоте 35 Гц.

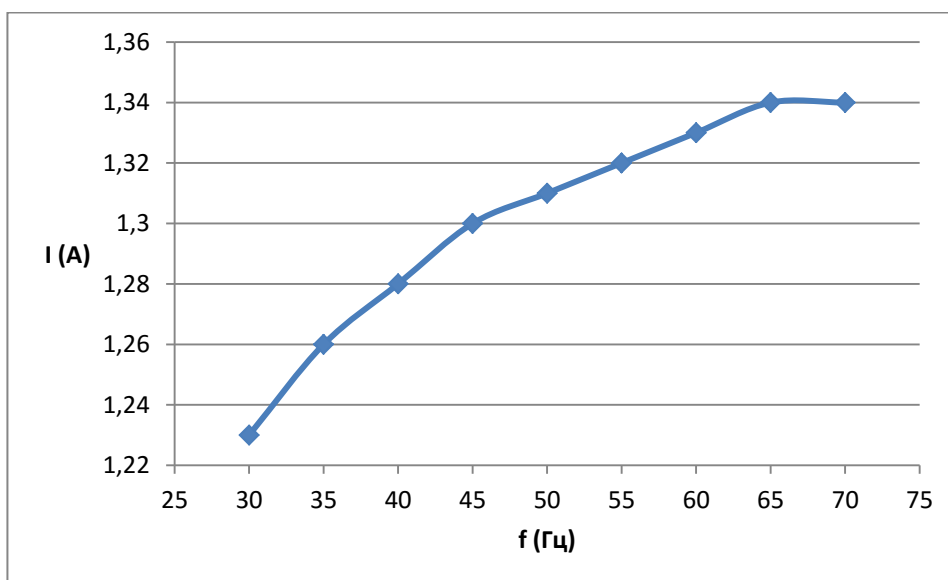


Рисунок 4.1.8 Зависимость действующего тока от частоты при $U=p*f=var$, $R_{мех}=1000=const$, $x_0=0,005=const$.

Из рисунка 4.1.8 видно что при увеличении частоты действующий ток увеличивается.

Таблица 4.1.5. Работа диспергатора при следующих параметрах:
 $U=p*f=var$, $R_{мех}=1250=const$, $x_0=0,005=const$, $\rho=1000=const$.

f, Гц	20	25	30	35	40	45	50	55	60
x, мм	0,49	0,508	0,51	0,508	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44
I, А	1,17	1,21	1,24	1,26	1,28	1,3	1,31	1,32	1,33

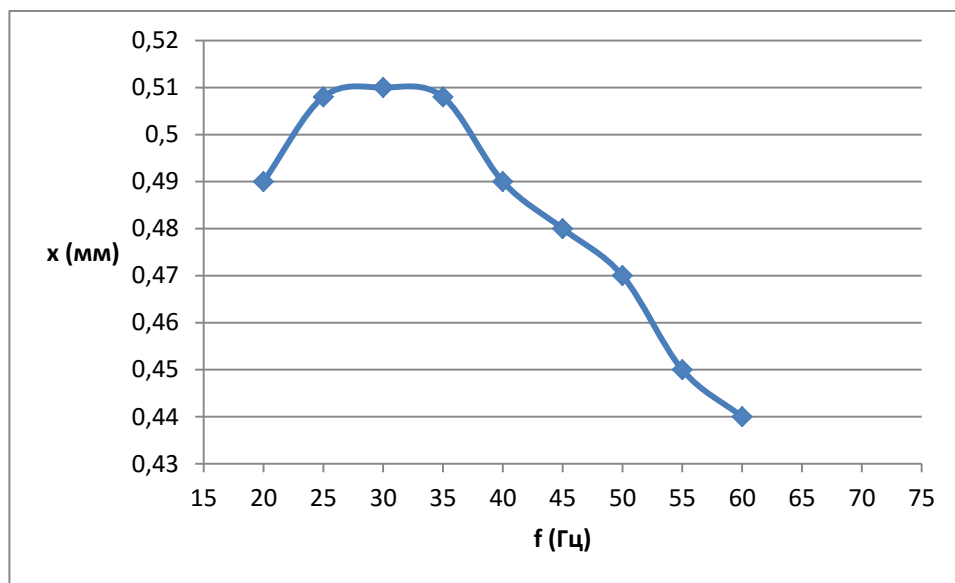


Рисунок 4.1.9. Зависимость амплитуды колебаний от частоты при
 $U=p*f=var$, $R_{мех}=1250=const$, $x_0=0,005=const$.

Из рисунка 4.1.9 видно что максимальная амплитуда колебаний при механическом сопротивлении равным 1250 кг/с достигается при частоте 30 Гц.

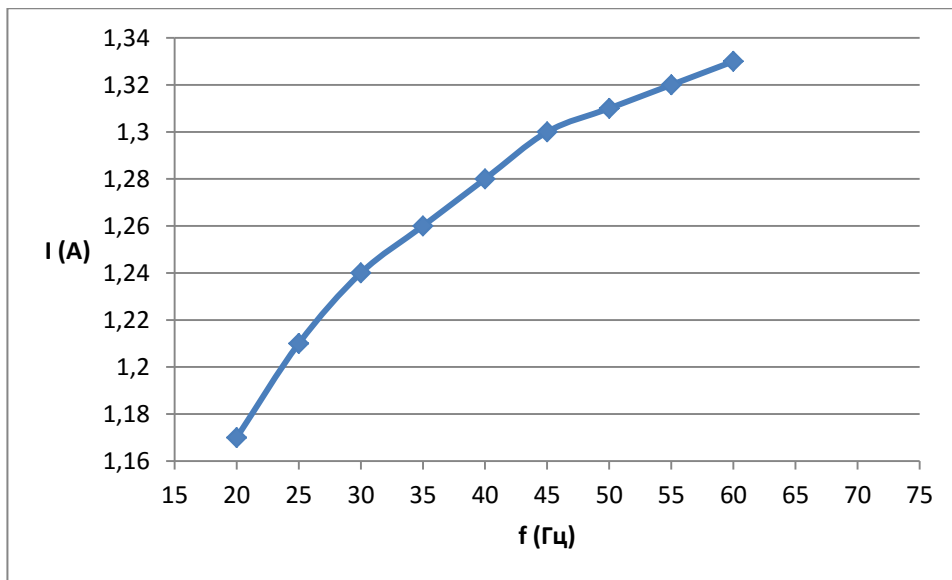


Рисунок 4.1.10. Зависимость действующего тока от частоты при $U=p*f=var$, $R_{mex}=1250=const$, $x_0=0,005=const$.

Из рисунка 4.1.10 видно что при увеличении частоты действующий ток увеличивается.

Из полученных результатов построим характеристики зависимости амплитуды и тока от механического сопротивления.

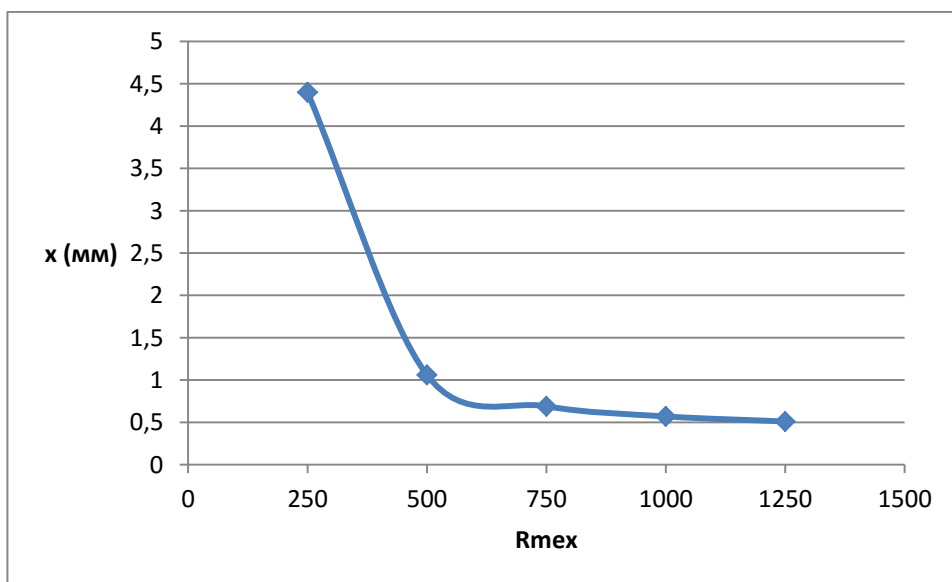


Рисунок 4.1.11. Зависимость амплитуды колебаний от механического сопротивления.

Из рисунка 4.1.11. видно, что при увеличении механического сопротивления амплитуда колебания уменьшается.

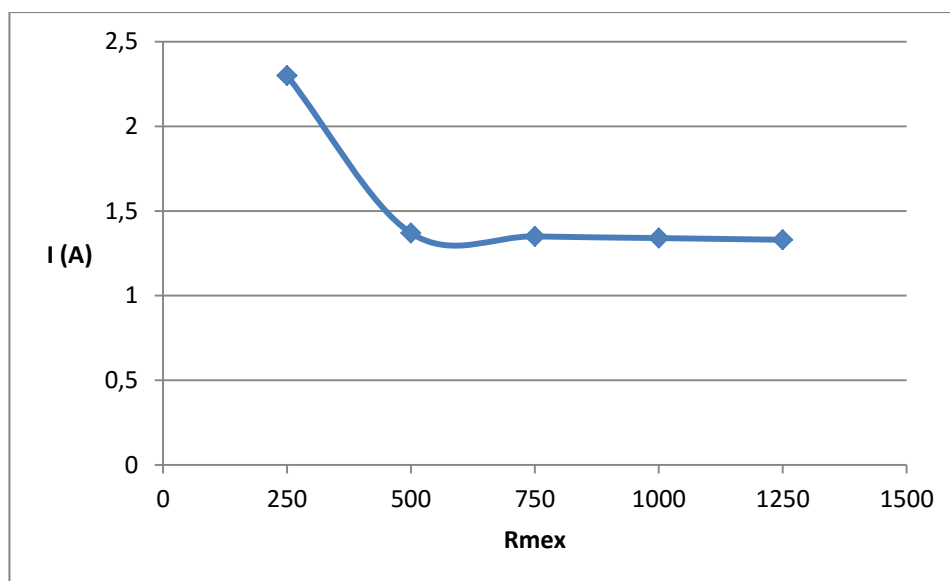


Рисунок 4.1.12. Зависимость действующего тока от механического сопротивления.

Из рисунка 4.1.12 видно, что при увеличении механического сопротивления действующий ток падает.

4.2 Работа ЭМП при изменении плотности жидкости

Также проведем анализ работы устройства приготовления (обработки) бурового раствора при различной плотности жидкости. Изменение плотности жидкости будем задавать в пределах от 750 до 2000 кг/м³. Неизменными параметрами при построении частотных характеристик, полученных по математической модели являются $U=p*f=var$, $x_0=0,005=const$, $R_{мех} = 500$

Таблица 4.2.1. Работа диспергатора при следующих параметрах: $U=p*f=var$, $R_{мех}=500=const$, $x_0=0,005=const$. $P_{ж}=750$ кг/м³

f, Гц	35	40	45	50	55	60	65	70
x, мм	0,75	0,84	0,95	1,01	0,94	0,81	0,68	0,58
I, А	1,24	1,25	1,27	1,31	1,35	1,36	1,36	1,36

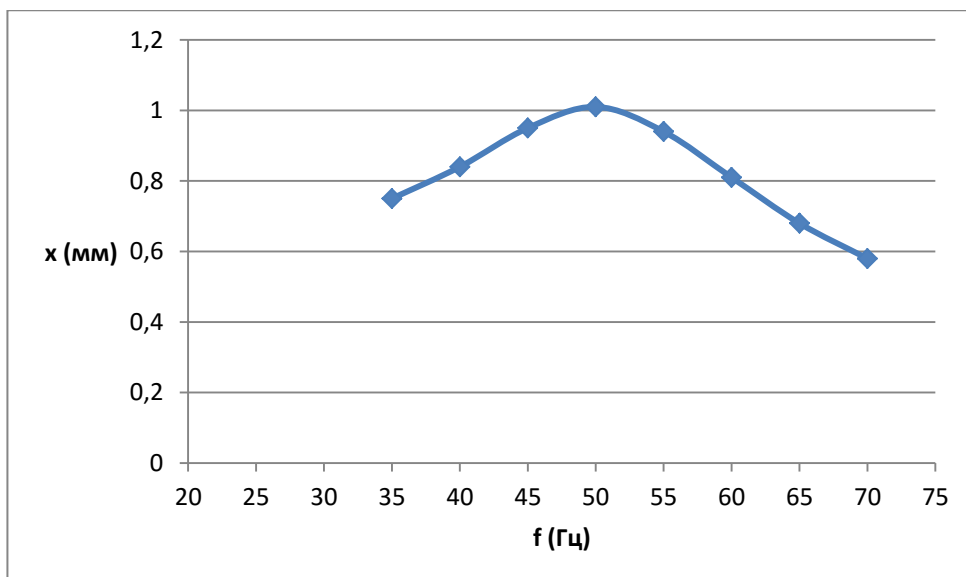


Рисунок 4.2.1 Зависимость амплитуды колебаний от частоты при $U=p*f=var$, $R_{mex}=500=const$, $x_0=0,005=const$. $P_{ж}=750 \text{ кг/м}^3$

Из рисунка 4.2.1 видно что максимальная амплитуда колебаний при плотности жидкости 750 кг/м^3 на частоте 50 Гц.

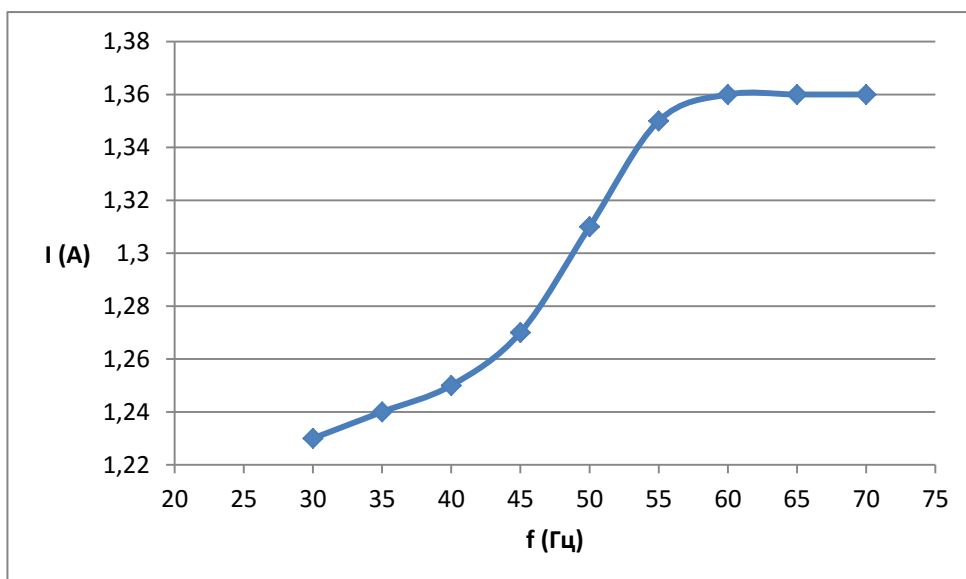


Рисунок 4.2.2. Зависимость действующего тока от частоты при $U=p*f=var$, $R_{mex}=500=const$, $x_0=0,005=const$. $P_{ж}=750 \text{ кг/м}^3$

Из рисунка 4.2.2. видно что при увеличении частоты действующий ток увеличивается.

Таблица 4.2.2. Работа диспергатора при следующих параметрах:
 $U=p*f=var$, $R_{mex}=500=const$, $x_0=0,005=const$. $P_{ж}=1000 \text{ кг/м}^3$

f, Гц	30	35	40	45	50	55	60	65	70
x, мм	0,76	0,78	0,91	1,04	1,06	0,93	0,76	0,62	0,54
I, А	1,23	1,24	1,25	1,28	1,32	1,36	1,37	1,36	1,36

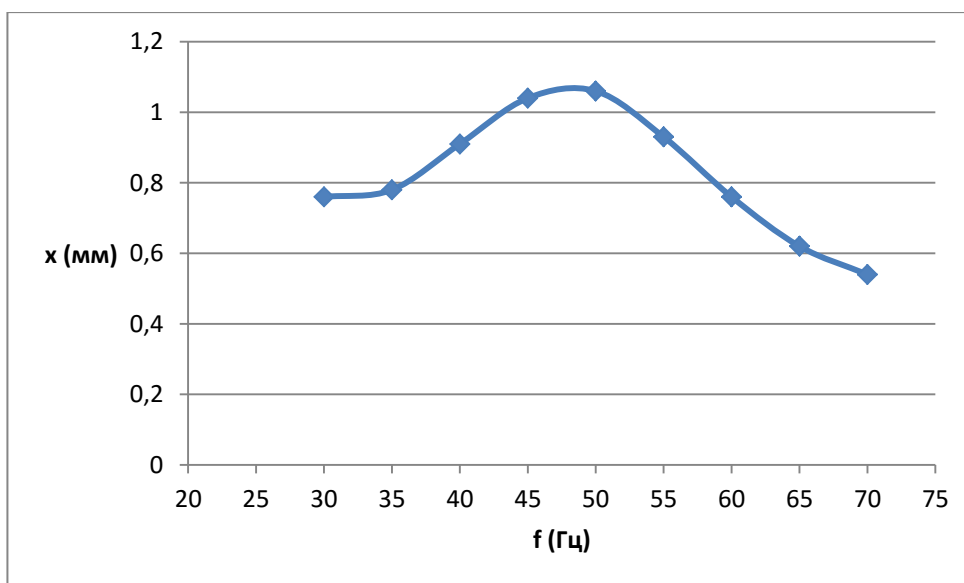


Рисунок 4.2.3 Зависимость амплитуды колебаний от частоты при
 $U=p*f=var$, $R_{mex}=500=const$, $x_0=0,005=const$. $P_{ж}=1000 \text{ кг/м}^3$

Из рисунка 4.2.3 видно что максимальная амплитуда колебаний при плотности жидкости 1000 кг/м^3 на частоте 50 Гц.

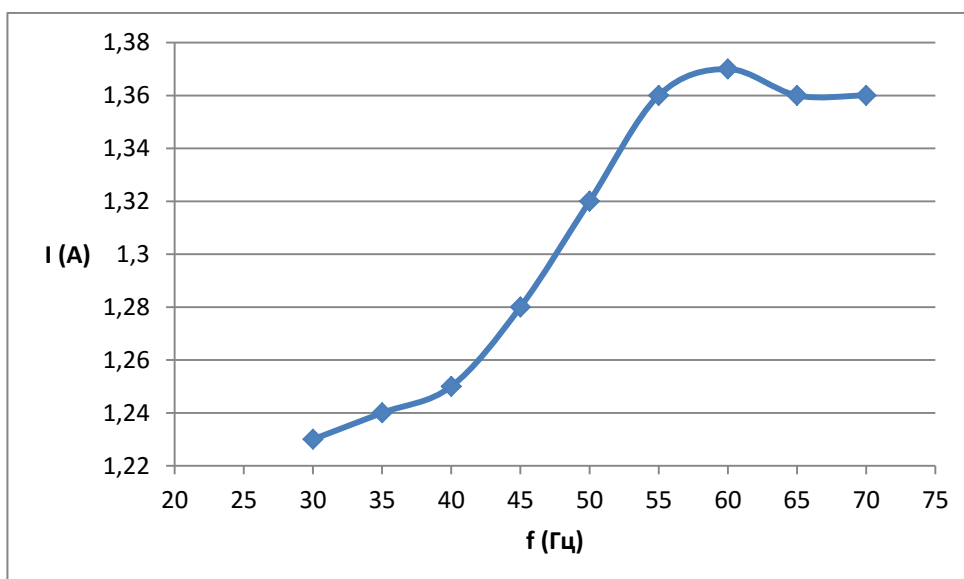


Рисунок 4.2.4. Зависимость действующего тока от частоты при
 $U=p*f=var$, $R_{mex}=500=const$, $x_0=0,005=const$. $P_{ж}=1000 \text{ кг/м}^3$

Из рисунка 4.2.4. видно что при увеличении частоты действующий ток сначала увеличивается потом уменьшается.

Таблица 4.2.3. Работа диспергатора при следующих параметрах:
 $U=p*f=var$, $R_{mex}=500=const$, $x_0=0,005=const$. $P_{ж}=1250 \text{ кг/м}^3$

f, Гц	30	35	40	45	50	55	60	65	70
x, мм	0,74	0,82	0,98	1,12	1,08	0,88	0,71	0,58	0,51
I, А	1,23	1,23	1,25	1,29	1,34	1,37	1,36	1,36	1,35

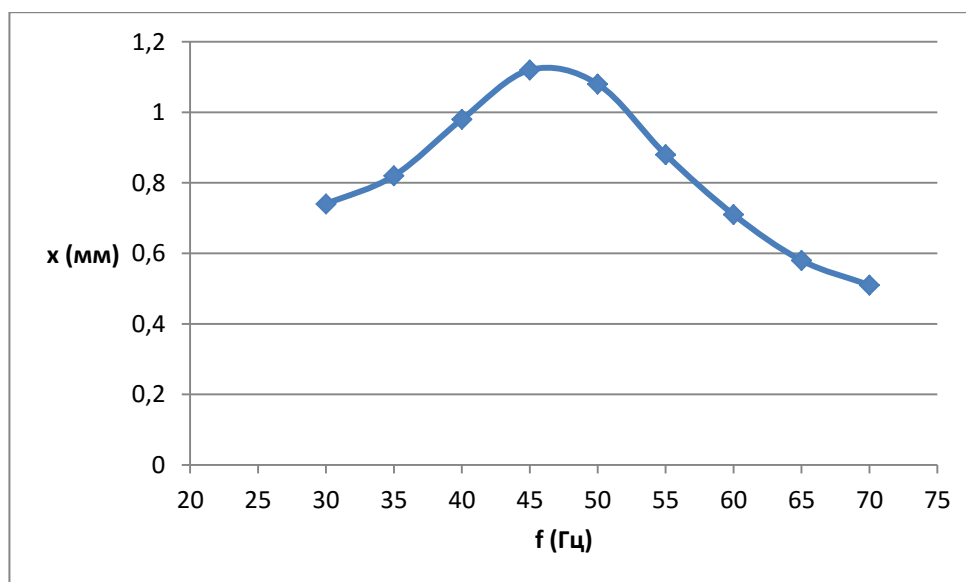


Рисунок 4.2.5 Зависимость амплитуды колебаний от частоты при
 $U=p*f=var$, $R_{mex}=500=const$, $x_0=0,005=const$. $P_{ж}=1250 \text{ кг/м}^3$

Из рисунка 4.2.5 видно что максимальная амплитуда колебаний при плотности жидкости 1250 кг/м^3 на частоте 45 Гц.

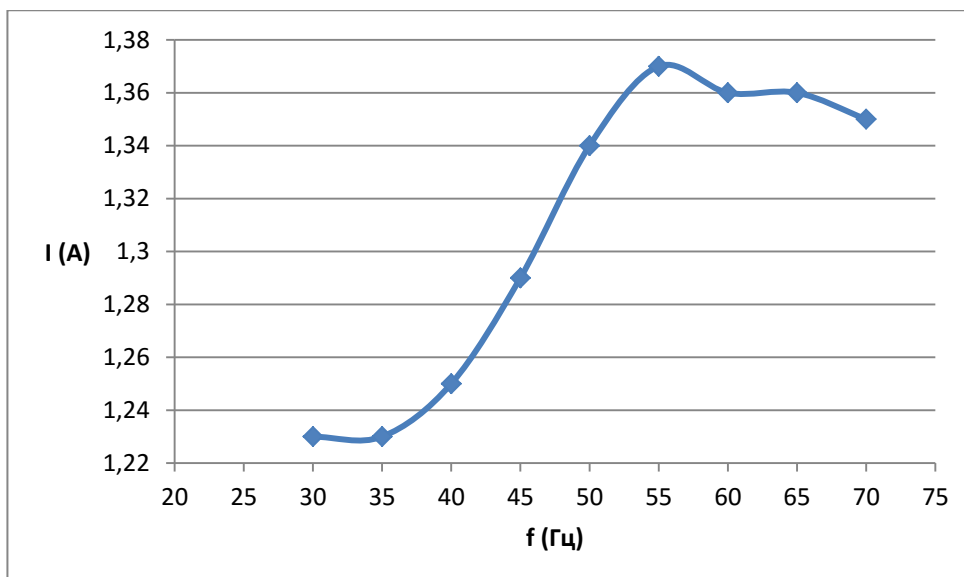


Рисунок 4.2.6. Зависимость действующего тока от частоты при $U=p*f=var$, $R_{mex}=500=const$, $x_0=0,005=const$. $P_{ж}=1250 \text{ кг/м}^3$

Из рисунка 4.2.6. видно что при увеличении частоты действующий ток сначала увеличивается потом уменьшается.

Таблица 4.2.4. Работа диспергатора при следующих параметрах: $U=p*f=var$, $R_{mex}=500=const$, $x_0=0,005=const$. $P_{ж}=1500 \text{ кг/м}^3$

f, Гц	30	35	40	45	50	55	60	65	70
x, мм	0,74	0,87	1,07	1,21	1,06	0,82	0,64	0,54	0,48
I, А	1,22	1,23	1,25	1,3	1,36	1,37	1,36	1,35	1,35

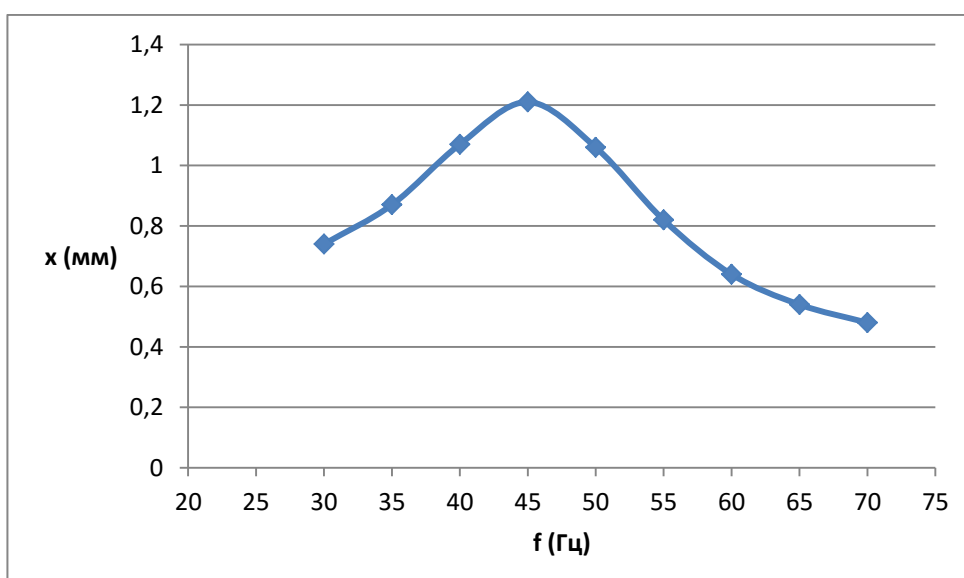


Рисунок 4.2.7 Зависимость амплитуды колебаний от частоты при
 $U=p*f=var$, $R_{mex}=500=const$, $x_0=0,005=const$. $P_{ж}=1500 \text{ кг/м}^3$

Из рисунка 4.2.7 видно что максимальная амплитуда колебаний при плотности жидкости 1500 кг/м^3 на частоте 45 Гц.

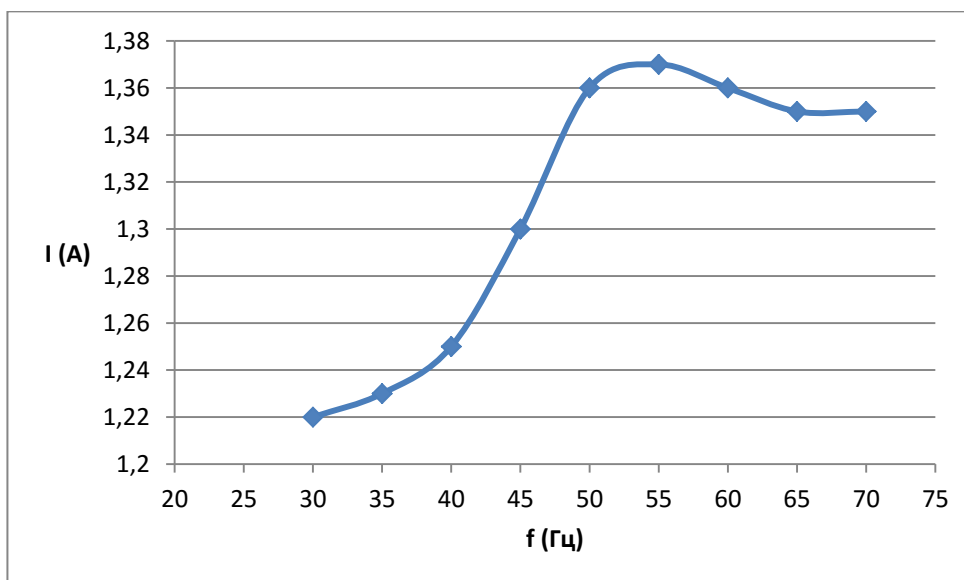


Рисунок 4.2.8. Зависимость действующего тока от частоты при
 $U=p*f=var$, $R_{mex}=500=const$, $x_0=0,005=const$. $P_{ж}=1500 \text{ кг/м}^3$

Из рисунка 4.2.8. видно что при увеличении частоты действующий ток сначала увеличивается потом уменьшается.

Таблица 4.2.5. Работа диспергатора при следующих параметрах:
 $U=p*f=var$, $R_{mex}=500=const$, $x_0=0,005=const$. $P_{ж}=2000 \text{ кг/м}^3$

f, Гц	30	35	40	45	50	55	60	65	70
x, мм	0,79	1	1,28	1,26	0,94	0,69	0,56	0,49	0,45
I, А	1,22	1,22	1,26	1,35	1,37	1,36	1,35	1,35	1,34

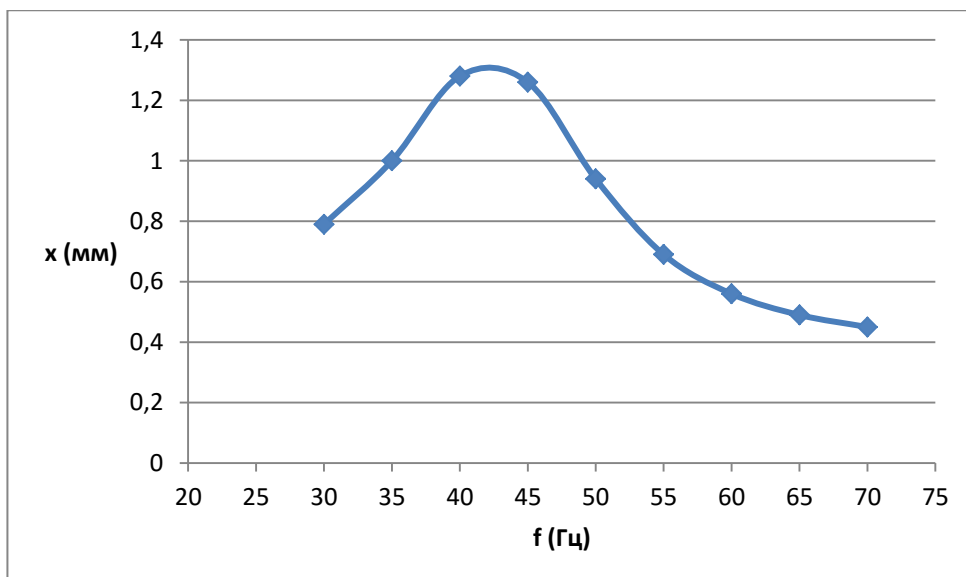


Рисунок 4.2.9 Зависимость амплитуды колебаний от частоты при $U=p*f=var$, $R_{mex}=500=const$, $x_0=0,005=const$. $P_{ж}=2000 \text{ кг/м}^3$

Из рисунка 4.2.9 видно что максимальная амплитуда колебаний при плотности жидкости 2000 кг/м^3 на частоте 40 Гц.

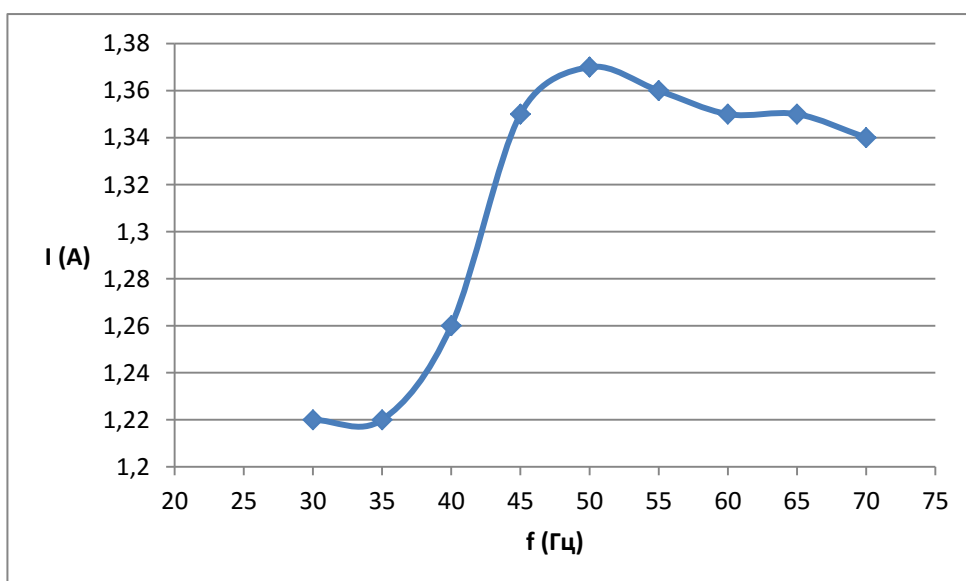


Рисунок 4.2.10. Зависимость действующего тока от частоты при $U=p*f=var$, $R_{mex}=500=const$, $x_0=0,005=const$. $P_{ж}=2000 \text{ кг/м}^3$

Из рисунка 4.2.10. видно что при увеличении частоты действующий ток сначала увеличивается потом уменьшается.

Из полученных результатов построим характеристики зависимости амплитуды и тока от плотности жидкости.

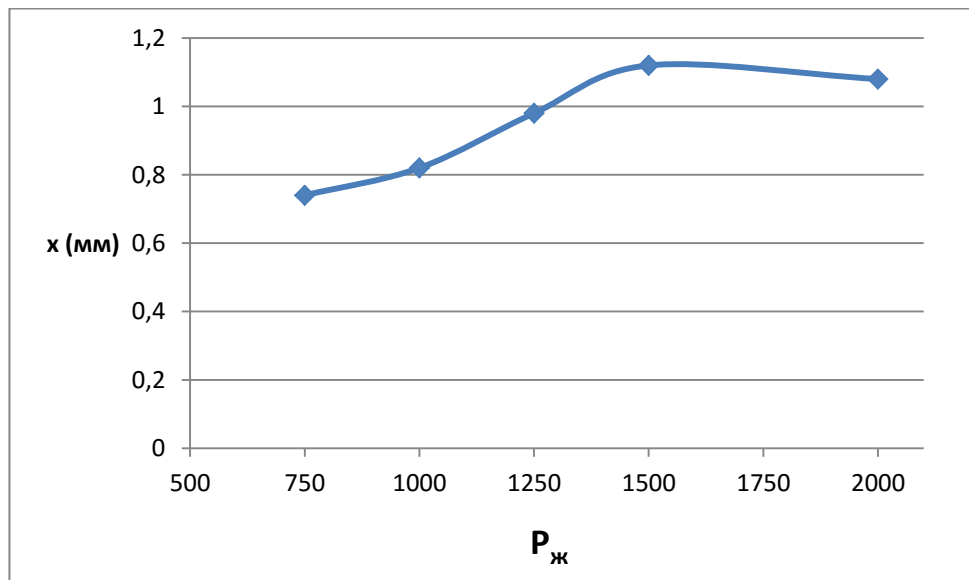


Рисунок 4.2.11 Зависимость амплитуды колебаний от плотности жидкости при $U=p*f=var$, $R_{мех}=500=const$, $x_0=0,005=const$.

Из рисунка 4.2.11 видно что при плотности жидкости 1500 кг/м^3 отмечена самая высокая амплитуда колебаний. это говорит о том, что наиболее целесообразное использование нашего устройства при плотности 1500 кг/м^3 .

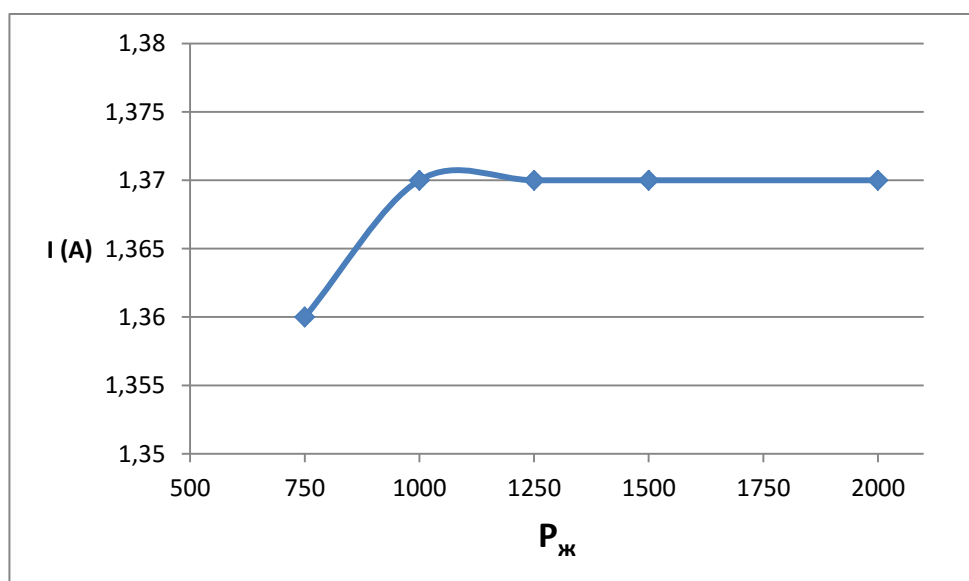


Рисунок 4.2.12 Зависимость действующего тока от плотности жидкости
 $U=p*f=var$, $R_{мех}=500=const$, $x_0=0,005=const$.

Из рисунка 4.2.12 видно что при увеличении плотности жидкости действующий ток сначала увеличивается.

4.3 Выводы по режимам работы ЭМП

- Проанализировав режимы работы виброактиватора сделаем вывод, что данное изделие является устройством резонансного типа. Параметры резонанса зависят от сопротивления жидкой среды, создаваемого колебаниям рабочего органа, и от частоты питающего напряжения. При минимальном механическом сопротивлении $R = 250$ и плотности жидкости $P_{ж} = 1000$, наблюдается резонанс в области 50 Гц с амплитудой колебаний $x = 4,4$ мм.

- При работе виброактиватора в вязкой среде с большим механическим сопротивлением $R = 1250$ и плотности жидкости $P_{ж} = 1000$ необходимо снижать частоту питающего напряжения вниз до 30 Гц для обеспечения резонансного режима работы.

Тоже самое происходит и с изменением плотности жидкости.

По результатам проведенных опытов получаем исходные данные для выбора преобразователя частоты.

Таблица 3.4.1

Диапазон регулирования частот	от 30 до 50 Гц
Номинальное напряжение сети	$U = 220 \text{ В.}$
Полный ток фазы	$I_{\text{полный}} = I_{\text{max}} * k_3 * 2 = 2.3 * 1.2 * 2 = 5.52 \text{ А}$ I_{max} - максимальный ток, протекающий в катушке; k_3 - коэффициент запаса примем равным 1,2; 2 – число параллельно подключенных модулей в одной фазе.

ГЛАВА 5. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИБРОАКТИВАТОРА ПРИГОТОВЛЕНИЯ БУРОВОГО РАСТВОРА

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 рисунке 5.1.1

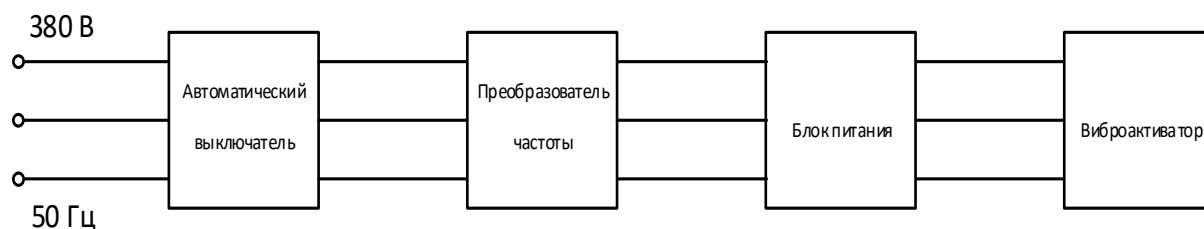


Рисунок 5.1.1 - Общая схема подключение виброактиватор

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

Номинальный фазный ток виброактиватора равен 5,52 А.

Диапазон напряжений, который необходимо обеспечить для регулирования режимов работы виброактиватора, составляет от 120 до 280 В.

Для обеспечения резонансного режима работы обработки виброактиватором бурового раствора необходимо менять частоту питающего напряжения в диапазоне от 30 до 50 Гц.

По справочным данным выбираем частотный преобразователь марки Mitsubishi FR-E540-5,5 К EC 5,5кВт 380В [7]

Данный преобразователь позволяет равномерно и экономичное регулирования производительности путем изменения частоты. Внешний вид и характеристики частотного преобразователя приведены в рисунке 5.1.2 и таблице 5.1.1



Рисунок 5.1.2 – Внешний вид преобразователя частоты Mitsubishi FR-E540-5,5 К EC

Таблица 5.1.1 - Характеристики частотного преобразователя

Наименование параметра	Величина
Номинальная выходная мощность ПЧ, кВт	5.5
Номинальный ток нагрузки, А	12
Номинальное напряжение на входе, В	220/380 (+10%-15%)
Диапазон регулирования напряжения, В	От 0 В до напряжение питания
Частота питающей сети, Гц	50/60 $\pm$ 5%
Диапазон регулирования частоты, Гц	0,2-400
Кратность тока перегрузки	1,5 I _{ном}
Степень защиты	IP 20

Для обеспечения работы виброактиватора на частоте 50 Гц выбираем диод марки Д-232 Характеристики диода приведены ниже:

$$U_{об.мах} = 400 \text{ В.}$$

$$I_{пр.мах} = 15 \text{ А.}$$

диапазон рабочих температур - 60...+130 С°

гарантийная наработка не менее – 10000 ч.

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 ВА63 3П 40А С Schneider Electric[8].

Технические характеристики автоматического выключателя

- Номинальное напряжение: 230/400В переменного тока.
- Напряжение изоляции: 400В переменного тока
- Класс токоограничения: 3
- Номинальное импульсное напряжение: 4кВ
- Ток отключения: 4500А
- Степень защиты: IP20
- Рабочая температура: От -25...+60°С
- Масса: 300 грамм

Таблица 5.1.2 Технические характеристики виброактиватора

U напряжение питания, В		220/380
Частота питающего напряжение, Гц		50
Номинальный ток фазы I _н , А		5,52
Производительность виброактиватора, м ³ /час		14,4
Габаритные размеры	высота, м	0.456
	диаметр, м	0.426

5.2 Технология применения виброактиватора для приготовления буровых растворов.

Технологию применения включает в себя следующие основные операции:

5.2.1. Подготовка к использованию виброактиватора

Первоначально необходимо проверить комплектность и исправность составных частей. Провести определение соответствия жил кабеля схемы подключения, произвести соединение кабеля и виброактиватора в соответствии согласному рисунку 5.1.1. Подключить виброактиватор к электрической сети согласно рисунку 5.1.1. Произвести включение виброактиватора на время не более 15 с. Активаторы при этом должны колебаться с размахом не менее 2 мм. Отключить виброактиватор от электрической сети. Устанавливаем виброактиватор в центре емкости для приготовления растворов. Подключаем к блоку питания БП по схеме согласному рисунку 5.1.1.

5.2.2. Размещение виброактиватора в емкости

Виброактиватор размещается в центре емкости и устанавливается на специальной опоре, где жестко фиксируется. Место установки виброактиватора должно быть свободно от посторонних предметов. Виброактиватор закрепляется на конструктивных элементах емкости с помощью болтового соединения. Схема размещения виброактиватора в ёмкости приготовления бурового раствора приведена на рисунке 5.2.1.

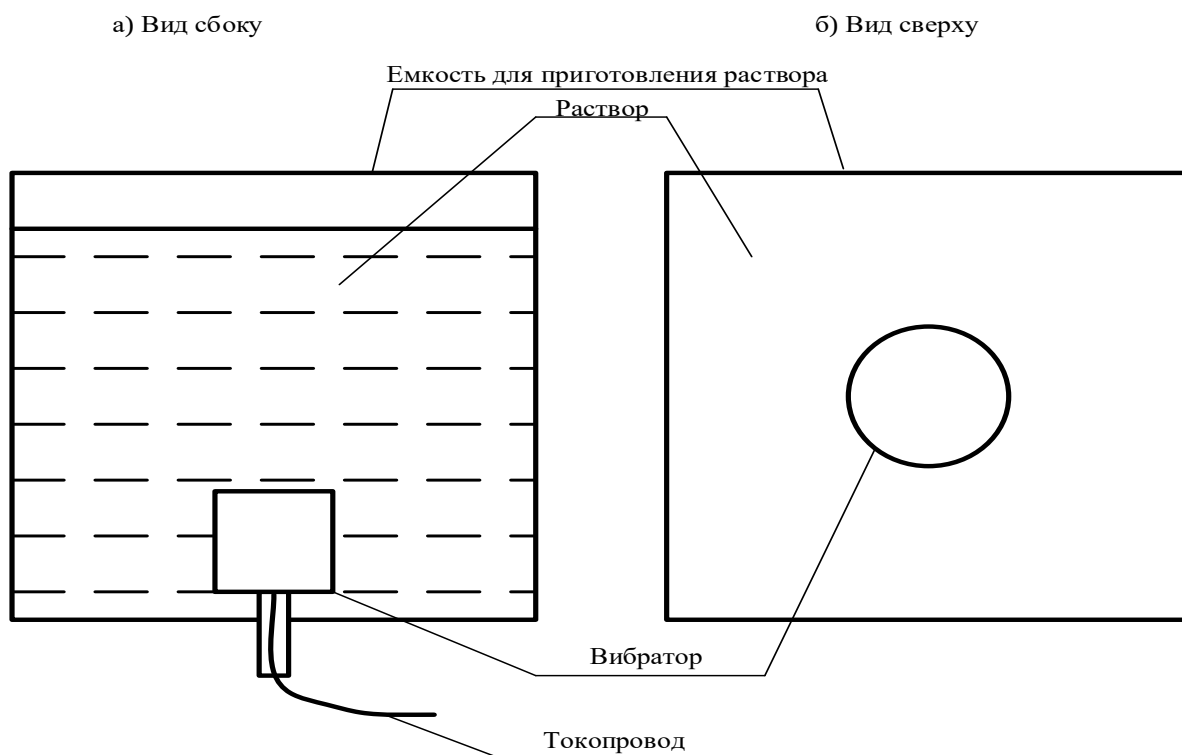


Рисунок 5.2.1. Блок приготовления бурового раствора с вибратором.

5.2.3. Регулирование режимов работы виброактиватора

При установке виброактиватора контролируется величина начального зазора, в случае не соответствия начального зазора регулируется на месте с помощью регулировочного болта.

По мере приготовления бурового раствора, оцениваемого визуально, оператор осуществляет регулирование с помощью силового устройства преобразователя частоты, изменяя питающее напряжение 220 В и частоты от 30 до 50 Гц в направлении режимов обеспечивающих резонанс.

5.2.4. Забор бурового раствора из емкости

Забор бурового раствора из емкости осуществляется с помощью шламового насоса. Шламовый насос устанавливается рядом с емкостью и по трубам осуществляется слив готового бурового раствора в технологические емкости буровой установки.

5.2.5. Завершение работы

После завершения работы виброактиватора отключить необходимо отключить его от сети с помощью автоматического выключателя. Примерно каждые 350 часов работы проверять работоспособность виброактиватора, измеряя величину его активного сопротивления в холодном состоянии и сопротивление изоляции. Также для повышения надежности виброактиватора необходимо проводить плановое и внеплановое техническое обслуживание.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных работ по моделированию, конструированию и разработке технологических приёмов применения виброактиватора для приготовления бурового раствора делаем следующие выводы:

1. Методика, расчётные выражения для определения механического сопротивления движению активатора и оценке производительности активации буровых растворов позволяют производить расчёты основных показателей работы виброактиватора на стадии проектирования. Объем приготовления буровых растворов при использовании разработанного виброактиватора может достигать до 2,4 м³/час в расчёте на один модуль, а всей установки до 14.4 м³/час. Что больше чем при использовании БПР-1.

2. Разработана конструктивная схема многомодульного исполнения виброактиватора для применения в емкости, предложена конструкция единичного модуля виброактиватора, определены рекомендации по регулированию начальных конструктивных установок виброактиватора при приготовлении буровых растворов. Начальный зазор при настройке модулей виброактиватора необходимо выбирать не менее 5 мм.

3. Разработаны основные приёмы применения виброактиватора для приготовления бурового раствора в емкости. При проведении работ по приготовлению бурового раствора необходимо периодически подстраивать частоту и амплитуду питающего напряжения для обеспечения работы виброактиватора в квазирезонансном режиме. Диапазон регулирования частоты может составлять от 30 до 50 Гц, диапазон регулирования амплитуды напряжения может составлять от 120 до 280 В.

4. Предложена трёхфазная электрическая схема подключения виброактиватора, обеспечивающая регулирование частоты и напряжения в заданном диапазоне. Подключение и регулирование указанных параметров обеспечивается применением частотного преобразователя марки Mitsubishi FR-E540-5,5 К ЕС, диодов марки Д-232, автоматического выключателя марки ВА63 3П 40А С Schneider Electric.

Список используемой литературы

1. Приготовление буровых растворов [электронный ресурс]
<http://леуза.пф/gti/bur/prom4.htm>
2. Блок приготовления буровых растворов [электронный ресурс]
[http://ungmk.ru/catalog/Bloki i systemi ochistki burovih rastvorov/Blok prigotovleniya burovih rastvorov/](http://ungmk.ru/catalog/Bloki_i_systemi_ochistki_burovih_rastvorov/Blok_prigotovleniya_burovih_rastvorov/)
3. В.А. Данекер, С.В. Рикконен, А.К. Хорьков, Резонансно-колебательные электромеханические преобразователи для обработки жидких систем. Химия нефти и газа. Материалы IV международной конференции. В 2-х томах.- Томск: «SST», 2000.-Т1-608с.
4. С.В. Рикконен Семинар Пермь 2004 г. Технология и оборудование виброструйной магнитной активации многокомпонентных жидких составов.
5. Электромагнитный активационный вибратор [электронный ресурс]
<http://www.oil-info.ru/content/view/173/51/>
6. Применение ВЭМА 0,3 [электронный ресурс]
<http://www.oil-info.ru/content/view/174/>
7. Расчет пружин [электронный ресурс] <http://al-vo.ru/wp-content/uploads/2015/06/raschet-pruzhiny-rastyazheniya.xls>
8. Преобразователь частоты [электронный ресурс]
<http://elleron.ru/catalog/chastotnye-preobrazovateli/mitsubishi/fr-e500/preobrazovatel-chastoty-mitsubishi-fr-e540-5-5-k-ec-5-5kvt-380v/>
9. Автоматический выключатель [электронный ресурс]
http://www.prestig.ru/elektrika/avtomati_i_uzo/avtomaticheskie_viklyuchateli/schneider_electric/domovoi/358_11227