

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики  
Отделение Электроэнергетики и электротехники  
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

| Тема работы  |
|--|
| <b>Электропривод установки приготовления раствора для цементирования нефтяной скважины</b> |

УДК 62-83:622.245.422

Студент

| Группа | ФИО                     | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------|---------|------|
| 5А6К   | Цхай Антон Валентинович |         |      |

Руководитель

| Должность      | ФИО          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|----------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОЭЭ ИШЭ | Данекер В.А. | К.Т.Н.                    |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность        | ФИО               | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|------------------|-------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН ШБИП | Подопригора И. В. | К.Э.Н.                    |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность     | ФИО            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|---------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент ООД | Мезенцева И.Л. |                           |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Руководитель ООП | ФИО          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|------------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОЭЭ ИШЭ   | Тютеева П.В. | К.Т.Н.                    |         |      |

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа ИШЭ

Направление подготовки - 13.03. 02 Электроэнергетика и электротехника

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
Доцент ОЭЭ ИШЭ Тютеева П.В.

\_\_\_\_\_  
(Подпись) (Дата)  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной**

**работы**

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

| Группа | ФИО                     |
|--------|-------------------------|
| 5А6К   | Цхай Антон Валентинович |

Тема работы:

**Электропривод установки приготовления раствора для нефтяных скважин**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№59-78/с  
28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:

02.06.2020г

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Исходные данные к работе</b><br/>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p> | <p>Активатор цементного раствора (АЦР) должна использовать электропривод электромагнитного типа.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установка подключается к промышленной сети переменного тока.</li> <li>2. Исполнение АЦР в виде отдельного агрегата.</li> </ol>                |
| <p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b><br/>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>           | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изучение существующих технологий цементирования скважин</li> <li>2. Разработка конструкции установки по приготовлению цементного раствора</li> <li>3. Разработка математической модели АЦР</li> <li>4. Анализ режимов работы модуля АЦР</li> </ol> |
| <p><b>Перечень графического материала</b><br/>(с точным указанием обязательных чертежей)</p>  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Эскиз конструкции АЦР</li> <li>2. Чертёж магнитопровода АЦР</li> </ol>   |
| <p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</b></p>   |  |
| <p><b>Раздел</b></p>  | <p><b>Консультант</b></p>  |
| <p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>  | <p>Подопригора Игнат Валерьевич</p>  |
| <p>«Социальная ответственность»</p>   | <p>Мезенцева Ирина Леонидовна</p>  |
| <p></p>   | <p></p>  |
| <p></p>   | <p></p>  |
| <p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>  |  |
| <p></p>   |  |

|  |         |
|--|---------|
| <p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p> | <p></p> |
|--|---------|

**Задание выдал руководитель:**

| <b>Должность</b> | <b>ФИО</b>   | <b>Ученая<br/>степень,<br/>звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
|------------------|--------------|---------------------------------------|----------------|-------------|
| Доцент ОЭЭ ИШЭ   | Данекер В.А. | к.т.н.                                |                | 29.02.2020  |

**Задание принял к исполнению студент:**

| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
|---------------|------------|----------------|-------------|
| 5А6К          | Цхай А.В.  |                | 29.02.2020  |

**Министерство образования и наук  
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

|               |                         |
|---------------|-------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>              |
| 5А6К          | Цхай Антон Валентинович |

|                            |                    |                                  |  |
|----------------------------|--------------------|----------------------------------|--|
| <b>Школа</b>               | <b>ИШЭ</b>         | <b>Отделение школы (НОЦ)</b>     | <b>Электроэнергетика и электротехника</b>                                      |
| <b>Уровень образования</b> | <b>Бакалавриат</b> | <b>Направление/специальность</b> | «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» |

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

|   |   |
|---|---|
| 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | <i>Стоимость материальных затрат, оплаты труда, прочие затраты.</i>                         |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>   | <i>30 % премии<br/>20 % надбавки<br/>16% накладные расходы<br/>13% районный коэффициент</i> |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>                                  | <i>27,1% отчисления на социальные нужды</i>   |

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

|   |  |
|---|--|
| 1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> | <i>SWOT - анализ по разработке проекта модернизации цементного раствора.</i>   |
| 2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>  | <i>Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; -определение трудоемкости работ; -разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: -материальные затраты; -заработная плата (основная и дополнительная); -отчисления на социальные цели; - накладные расходы.</i> |
| 3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>        | <i>Определение интегрального показателя ресурсоэффективности</i>   |

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

|   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. Альтернативы проведения НИ</li> <li>4. График проведения и бюджет НИ</li> <li>5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</li> </ol> |
|---|

|   |  |
|---|--|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> |  |
|---|--|

**Задание выдал консультант:**

| Должность        | ФИО               | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|------------------|-------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН ШБИП | Подопригора И. В. |                           |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                     | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------|---------|------|
| 5А6К   | Цхай Антон Валентинович |         |      |

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

|        |                         |
|--------|-------------------------|
| Группа | ФИО                     |
| 5А6К   | Цхай Антон Валентинович |

|                     |             |                           |  |
|---------------------|-------------|---------------------------|--|
| Школа               | ИШЭ         | Отделение (НОЦ)           | Электроэнергетика и электротехника             |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | 13.03.02<br>Электроэнергетика и электротехника |

Тема ВКР:

|   |   |
|---|---|
| <b>Электропривод установки приготовления раствора для цементирования нефтяной скважины</b>  |   |
| <b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>  |   |
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения  | Объект исследования:<br>Электропривод установки приготовления раствора для цементирования нефтяных скважин  |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:  |   |
| <b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ.</li> <li>• ТК РФ от 30.12.2001 N 197 ФЗ (ред. от 16.12.2019). ТК РФ Статья 213. Медицинские осмотры некоторых категорий работников;</li> <li>• Федеральный закон от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и</li> </ul> |

|   |   |
|---|---|
|   | <b>профессиональных заболеваний»;</b>   |
| <b>2. Производственная безопасность:</b><br>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов<br>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия | 1. повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны<br>2. Превышение уровня шума<br>3. Повышенный уровень вибрации<br>4. Недостаточная освещенность рабочей зоны<br>5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи. |
| <b>3. Экологическая безопасность:</b>   | Анализ воздействия объекта на атмосферу, гидросферу и литосферу.  |
| <b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>  | Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения.<br>Типичная ЧС- газонефтеводопроявления   |

|   |  |
|---|--|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> |  |
|---|--|

**Задание выдал консультант:**

| Должность             | ФИО            | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|----------------|------------------------|---------|------|
| Ассистент ООД<br>ШБИП | Мезенцева И.Л. |                        |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                     | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------|---------|------|
| 5А6К   | Цхай Антон Валентинович |         |      |

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 98 с., содержит 19 рис., и 10 табл., 22 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: цементируемый агрегат, виброструйный магнитный активатор, активатор цементного раствора, электромагнит, колебания.

Объектом исследования активатор цементного раствора.

Цель работы –разработать на базе технологии ВСМА оборудование, позволяющее повысить качество приготовления цементного раствора в условиях его приготовления на скважине для обеспечения максимальной долговечности трубной конструкции путем защиты её от агрессивного воздействия со стороны окружающей среды.

В процессе исследования проводилось создание конструкции и ее математической модели, выбор возмущающей силы и анализ режимов работы АЦР.

В результате исследования был разработан и экономически обоснован проект активатора цементного раствора.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью компьютерных программ Microsoft Office 2016, Mathcad 15, КОМПАС-3D и MathType.

## Оглавление

|  |    |
|--|----|
| РЕФЕРАТ .....  | 9  |
| Оглавление .....   | 10 |
| Введение.....  | 13 |
| 1.ТРАДИЦИОННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН .....   | 15 |
| 1.1 Наземная цементировочная техника .....   | 15 |
| 1.2 Цементировочный агрегат.....   | 17 |
| 1.3 Цементно-смесительные машины .....   | 18 |
| 1.4 Осреднительные установки.....  | 19 |
| 1.5 Блок манифольда.....   | 20 |
| 1.6 Станция контроля цементирования.....   | 21 |
| 2. КОНСТРУКЦИЯ УСТАНОВКИ ПО ПРИГОТОВЛЕНИЮ ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА..  | 23 |
| 2.1 Технология и оборудование виброструйной магнитной активации жидких систем .....                          | 23 |
| 2.1.1 Разработка конструкции АЦР .....   | 25 |
| 2.2 Расчеты размеров электромагнита и активатора .....   | 29 |
| 2.3 Параметры обмоток электромагнита модуля ВСМА .....   | 35 |
| 2.4 Конструирование пружинного подвеса .....   | 38 |
| 3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АЦР .....   | 45 |
| 3.1 Активное сопротивление обмотки модуля ВСМА .....   | 47 |
| 3.2 Расчётное начальное значение индуктивности обмотки модуля АЦР .....                                      | 47 |
| 3.3 Расчётное начальное значение взаимоиндуктивности основных обмоток.....                                   | 49 |
| 3.4 Расчётное активное сопротивление короткозамкнутого витка, образованного стенкой корпуса модуля АЦР ..... | 49 |
| 3.5 Расчётное начальное значение индуктивности к.з.к.....  | 50 |
| 3.6 Расчётное начальное значение взаимоиндуктивности обмоток основного контура и к.з.к.....                  | 50 |
| 3.7 Расчётное значение коэффициента потерь на вязкое трение.....   | 50 |
| 3.8 Система дифференциальных уравнений модуля АЦР .....  | 51 |

|  |    |
|--|----|
| ВЫВОДЫ .....   | 51 |
| 4. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МОДУЛЯ АЦР .....  | 53 |
| ВЫВОДЫ .....   | 61 |
| 5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ .....   | 62 |
| И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....  | 62 |
| 5.1 Анализ конкурентных технических решений .....  | 62 |
| 5.2 SWOT-анализ проекта .....  | 64 |
| 5.3 Планирование научно-исследовательских работ .....  | 68 |
| 5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования.....  | 68 |
| 5.3.2 Определение трудоемкости выполнения технического проекта.....  | 69 |
| 5.3.3 Разработка графика проведения научного исследования .....  | 71 |
| 5.4 Расчет бюджета для научно-технического исследования .....  | 75 |
| 5.4.1 Расчет материальных затрат НТИ .....   | 75 |
| 5.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы.....   | 78 |
| 5.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....  | 81 |
| 5.4.4 Накладные расходы.....   | 81 |
| 5.4.5 Формирование сметы технического проекта .....  | 82 |
| 5.5 Определение ресурсоэффективности проекта.....  | 83 |
| 6 Социальная ответственность.....  | 86 |
| Введение.....  | 86 |
| 6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....   | 86 |
| 6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....   | 86 |
| 6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....  | 87 |
| 6.2 Производственная безопасность.....   | 87 |
| 6.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов .....   | 88 |
| 6.2.2 Повышенная или пониженная температура воздуха .....  | 88 |
| Время пребывания на открытой территории в нагревающем климате в летнее время года<br>указанно в таблице 2..... | 89 |
| 6.2.3 Повышение уровня шума .....  | 90 |
| 6.2.4 Повышенный уровень вибрации.....   | 91 |
| 6.2.5 Недостаточное освещение рабочей зоны.....  | 92 |

|  |    |
|--|----|
| 6.2.6 Повышенное значение напряжения в электрической цепи..... | 93 |
| 6.3 Экологическая безопасность.....                            | 94 |
| 6.3.1 Загрязнение атмосферы .....                              | 94 |
| 6.3.2 Загрязнение литосферы и гидросферы.....                  | 95 |
| 6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....                | 95 |
| Выводы по разделу.....   | 97 |
| Список используемой литературы .....                           | 98 |

## **Введение**

Один из важнейших этапов строительства скважины – этап цементирования. Данному этапу уделяется особое внимание, так как существует вероятность возникновения осложнений и, в некоторых случаях, даже аварий, что влечет за собой большие материальные затраты и непоправимый вред экологии. От этапа крепления, а именно от правильности и качества выполнения, зависит будущий дебит скважины и время ее эксплуатации.

В нашей стране множество месторождений и то, что они расположены в различных природных и геологических условиях, не позволяет выделить или создать универсальный способ цементирования. Для каждого месторождения проектные институты или сервисные компании оптимизируют процесс исходя из комплекса условий, чтобы максимально эффективно и без вреда окружающей среде провести крепление скважины.

Современные реалии требуют разработку и применения новых технологий, которые будут снижать временные и денежные издержки, повышать качество и эффективность работ на этапе крепления скважины.

В данной работе рассматриваются вопросы цементирования, анализ новых технологий и оборудования, анализ осложнений, а также их устранение.

Актуальность проблемы заключается в совершенствовании технологии и техники цементирования нефтяных и газовых скважин, внедрении этих технологий в процессе строительства, повышении качества цементирования.

Цель работы: разработать на базе технологии ВСМА оборудование, позволяющее повысить качество приготовления цементного раствора в условиях его приготовления на скважине для обеспечения максимальной долговечности трубной конструкции путем защиты её от агрессивного воздействия со стороны окружающей среды. По завершении цементировочных работ образуется так называемая «пробка», позволяющая добиться тампонажного эффекта. Очень важно в данном процессе соблюдать временные

параметры. На качество цементной пробки большое влияние оказывает время исполнения технологического процесса, очень важно закончить все работы до того, как в цементной смеси начнутся процессы, влияющие на её структуру и свойства

# 1.ТРАДИЦИОННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН

Цементирование нефтяных и газовых скважин – это заключительный этап подготовки скважины к эксплуатации. Комплекс работ направлен на создание и поддержание максимального срока службы скважины. Это связано с тем, что:

1. необходимо изолировать каждую нефтегазоносную область, чтобы исключить возможность перетоков сырья и воды из разных пластов;
2. необходимо снизить влияние движения грунтов на скважину;
3. в результате воздействия почвенной влаги на металл существует риск осложнений, необходимо обеспечить высокую коррозионную стойкость.

Основными отличиями используемых технологий и процесса цементирования от своих предшественников можно выделить то, что сейчас большое внимание уделяется автоматизации процесса и использование компьютеров (расчет требуемого объема раствора). В программах учитывается множество факторов: климат, геология, параметры техники и т.д. [1].

## 1.1 Наземная цементировочная техника

К **оборудованию**, необходимому для цементирования скважин, относятся: цементировочные агрегаты, цементно-смесительные машины, цементировочная головка, заливочные пробки и другое мелкое **оборудование** (краны высокого давления, устройства для распределения раствора, гибкие металлические шланги и т. п.).

Цементировочные агрегаты. При помощи цементировочного агрегата производят затворение цемента (если не используется цементно-смесительная машина), закачивают цементный раствор в скважину, продавливают цементный

раствор в затрубное пространство. Кроме того, цементируемые агрегаты используются и для других работ (установка цементных мостов, **нефтяных** ванн, испытание колонн на герметичность и др.).

С учетом характера работ цементируемые агрегаты изготавливают передвижными с монтажом всего необходимого **оборудования** на грузовой автомашине. На открытой платформе автомашины смонтированы: поршневой насос высокого давления для прокачки цементного раствора; измерительные баки, при помощи которых определяют количество жидкости, закачиваемой в колонну для продавки цементного раствора; двигатель для привода насоса.

Для цементирования обсадных колонн в основном применяют цементируемые агрегаты следующих типов: ЦА-320М, ЗЦА-.400, ЗЦА-400А и др. (ЦА - цементируемый агрегат, цифры 320 и 400 соответственно 32 и 40 МПа - максимальное давление, развиваемое насосами этих цементируемых агрегатов).

Для централизованной обвязки цементируемых агрегатов с устьем скважины применяют блок манифольдов. Он состоит из коллектора высокого давления для соединения ЦА с устьем скважины и коллектора низкого давления для распределения воды и продавочной жидкости, подаваемой к ЦА. Блок манифольдов, как правило, **оборудован** грузоподъемным устройством.

Цементно-смесительные машины. Цементирование осуществляется при помощи цементно-смесительных машин. Применяются различные типы цементно-смесительных машин: СМ-10, 2СМН-20, СПМ-20 др. В данном случае цифры 10, 20 и т. п. обозначают количество цемента (в т), которое возможно поместить, в бункер смесительной машины.

Цементируемые головки предназначены для промывки скважины и проведения цементирования. Спущенная обсадная колонна оборудуется

специальной цементирующей головкой, к которой присоединяются нагнетательные трубопроводы (манифольды) от цементирующих агрегатов.

В настоящее время применяются цементирующие головки ЦГЗ, ГЦК, ГЦ5-150, СНПУ, 2ГУЦ-400 и др. Так как в конструктивном отношении все перечисленные головки имеют сходство, то рассмотрим в качестве примера одну из них. На рис. 160 показана головка устьева цементирующая 2ГУЦ-400, предназначенная для обвязки устья при цементировании скважин и рассчитанная на максимальное давление 40 МПа.

При двухступенчатом цементировании используются специальные цементирующие пробки.

## 1.2 Цементирующий агрегат

Цементирующий агрегат (ЦА) используется для нагнетания рабочих жидкостей при цементировании скважин в процессе бурения, а также для проведения других промывочно-продавочных работ. Данный вид техники также может использоваться при работах по капитальному ремонту, которые заключаются в укреплении основания фундамента и других работах, связанных с нагнетанием цементного раствора.

С помощью ЦА можно выполнять следующие задачи:

- подачу жидкости затворения в гидросмесительное устройство;
- закачку буферной жидкости, тампонажного раствора и продавочной жидкости в скважину;
- аккумуляцию различных жидкостей в мерных баках ЦА; приготовление буферных жидкостей и других составов.

ЦА могут быть как на автомобильном шасси, так и стационарными.

На рисунке 1 изображен ЦА на базе автомобиля.

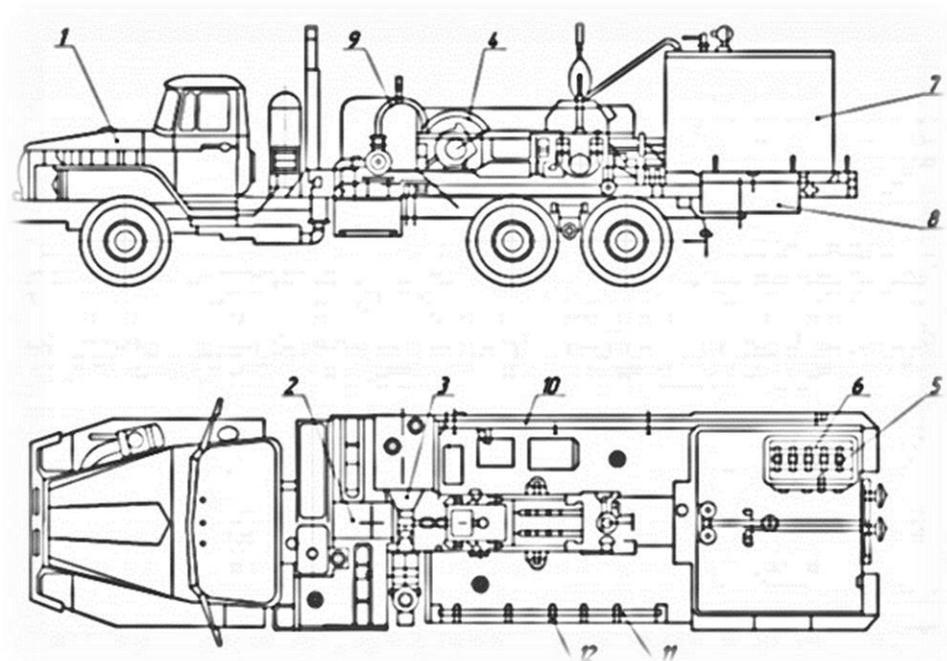


Рисунок 1 – Схема ЦА:

1 – шасси автомобиля; 2 – редуктор, коробка отбора мощности; 3 – блок водоподающий с центробежным насосом; 4 – насос; 5 – колено шарнирное; 6 – колено шарнирное сдвоенное; 7 – бак мерный с донными клапанами; 8 – бачок цементный; 9 – манифольд; 10,11,12 – трубы

### 1.3 Цементно-смесительные машины

Цементно-смесительные машины были созданы с целью увеличения эффективности процесса приготовления цементных растворов. При использовании данных машин механизуются трудоемкие работы, повышается качество и стабильность приготавливаемых растворов, что в свою очередь снижает потери цемента и значительно повышает комфортность условий труда рабочего персонала [6].

Цементно-смесительные машины включают в себя несколько основных узлов: бункер, погрузочно-разгрузочное устройство и устройство для

приготовления растворов. Различают два вида: с механической и пневматической разгрузкой бункера.

На рисунке 2 изображена цементно-смесительная машина УС6-30Н.

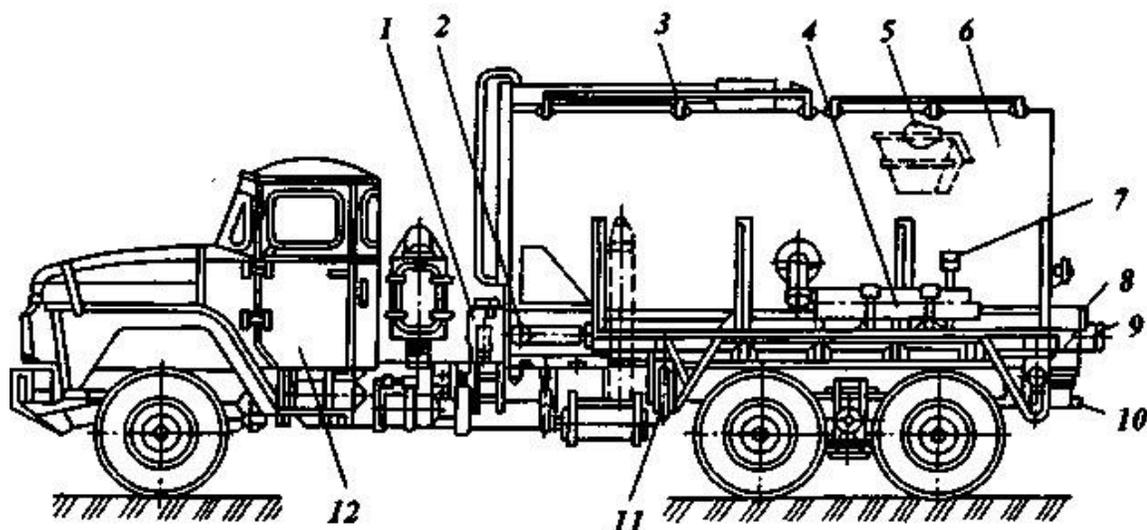


Рисунок 2 – Схема смесительной установки УС6-30Н:

- 1 – коробка отбора мощности; 2 – карданные валы; 3 – привод загрузочного шнека;
- 4 – загрузочный шнек; 5 – загрузочная воронка; 6 – бункер; 7 – вибратор; 8 – приемная камера;
- 9 – дозирующие шнеки; 10 – смесительное устройство; 11 – домкраты; 12 – автошасси

#### 1.4 Осреднительные установки

Осреднительные установки предназначены для приготовления буровых и тампонажных растворов, а также прочих технологических жидкостей для бурения и ремонта буровых скважин (рис. 3).

Преимущества применения:

- повышается качество приготавливаемых тампонажных растворов, улучшая однородность по всему объему;
- сокращается количество цементируемых агрегатов;
- упрощается обвязка цементирующего оборудования и повышается оперативность управления процессом;
- исключаются потери цемента и цементного раствора.

Могут быть также использованы для приготовления буферных составов и жидкостей затворения.



Рисунок 3 - Установка смесительная осреднительная УСО-20Р1

### 1.5 Блок манифольда

Блок манифольда БМ необходим для обвязки устья скважины и насосных установок в процессе цементирования, ГРП и других промывочно-продавочных работ в скважине (рис. 4).

При использовании БМ можно выделить несколько достоинств:

- снижение количества операций по сборке и разборке манифольдов от ЦА, что в свою очередь ведет к экономии времени цементирования;

- возможность оперативно сменить ЦА с помощью крана высокого давления (КВД), если другой вышел из строя [6].



Рисунок 4 – Установка блока манифольдов БМ-70/32 на шасси Урал

На шасси автомобиля есть место для перевозки цементирующей головки, так же в большинстве случаев предусмотрен обогрев выхлопными газами клапанной коробки и крана сброса давления [11]. В некоторых комплектациях сразу устанавливается система контроля и управления процессом цементирования (СКЦ), которая расположена в закрытом герметичном кузове

(рис. 5).



Рисунок 5 – БМ 70/32 с системой управления и контроля цементирования (СКЦ)

## 1.6 Станция контроля цементирования

Система контроля и управления процессом цементирования (СКЦ) обеспечивает непрерывный контроль и регистрацию параметров на входе в

скважину в потоке (рис. 6). Система контроля (лаборатория) чаще всего расположена в закрытом герметичном кузове на шасси автомобиля. Кузов лаборатории разделен на два отсека: помещение с оборудованными рабочими местами оператора и руководителей операции цементирования и помещение для отдыха персонала [13].



Рисунок 6 – Станция контроля цементирования

Функциональность:

- получение и систематизация данных;
- выдача рекомендаций по корректировке технологического процесса, чтобы избежать осложнения и аварии;
- контроль параметров процесса цементирования.

## **2. КОНСТРУКЦИЯ УСТАНОВКИ ПО ПРИГОТОВЛЕНИЮ ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА**

### **2.1 Технология и оборудование виброструйной магнитной**

#### **активации жидких систем**

В основе технологии и оборудования виброструйной магнитной активации лежит применение электромагнитных преобразователей (ЭМП) колебательного типа, работающих в резонансном режиме, характеризующимся минимально низким энергопотреблением [17]. Использование в данном техническом решении для обработки ЖС колебательного движения рабочего органа имеет существенные преимущества, заключающиеся в возможности получения максимальных амплитуд колебаний рабочего органа в режиме резонанса. Основными конструктивными элементами ЭМП являются электромагнитный привод, электрическая часть которого размещена в герметичном корпусе, рабочий орган устройства ВСМА, упругий подвес рабочего органа. Наличие некоторых других элементов обусловлено необходимостью крепления ЭМП в общей конструкции технологического оборудования. Вся конструкция устройства ВСМА должна быть погружена в среду ЖС. Рабочий орган электромагнитного привода должен совершать колебательные движения непосредственно в среде ЖС.

В реальных условиях были проведены исследования с целью получения данных об эффективности применения технологии и оборудования ВСМА. Опыты проводилась на лабораторных установках Вл-1, промышленно выпускаемого вибратора ВЭМА-0,3 и других образцах.

Одним из важных характеристик качества получаемой смесью является диспергация. В ходе опытов были получены результаты, говорящие о

многократном преобладании(вышении) мелкозернистых частиц в растворе, приготовленном на установке Вл-1, что говорит о высоком качестве.

Объект исследований – цементный раствор. Сравнение качества двух проб цементного раствора, приготовленных на установке Вл-1 и стандартной лабораторной мешалке М-1, проводилось в лабораторных условиях по данным показателя растекаемости цементного раствора на конусе АзНИИ. Данные, полученные в ходе эксперимента изображены в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнительные данные качества цементного раствора

| Тип мешалки | Растекаемость, см |         |
|-------------|-------------------|---------|
|             | Проба 1           | Проба 2 |
| М-1         | 23                | 22      |
| Вл-1        | 25                | 24,5    |

Более высокое значение растекаемости цементных растворов, приготовленных на установке Вл-1, свидетельствует об их более высоком качестве.

Объект исследований – цементный раствор. Сравнение качества цементного раствора проводилось при проведении операции первой ступени цементирования нефтяной скважины ОАО «Лукойл-Бурение» по показателям растекаемости растворов, приготовленных стандартным способом на гидросмесителе установки УСО-21Р и с использованием вибратора ВЭМА-0,3. Сравнительные характеристики сведены в таблице 2.

Таблица 2 - Качество цементного раствора

| Способ приготовления | Растекаемость, см |
|----------------------|-------------------|
| Гидросмешивание      | 18,0              |
| Технология ВСМА      | 22,0              |

Качество цементного раствора, приготовленного с применением вибратора ВЭМА-0,3, существенно выше, о чём свидетельствует соответствующее значение растекаемости.

Таким образом, применение устройств ВМСА в процессе приготовления цементного раствора при цементировании скважин позволит повысить качество цементного раствора и сократить время его приготовления. В целом это приведёт к существенному улучшению технологии цементирования нефтяных и газовых скважин в условиях приготовления цементного раствора на месте его применения.

### **2.1.1 Разработка конструкции АЦР**

По технологическим условиям приготовления цементного раствора необходимо готовить в среднем  $40 \text{ м}^3$  за 2 часа. Для ускорения времени приготовления раствора обычно используется не менее двух агрегатов. Следовательно, производительность приготовления раствора одним агрегатом составляет в среднем не менее  $10 \text{ м}^3/\text{час}$ .

В связи с тем, что качество растворной смеси после гидросмесителя очень низкое, обоснованным является решение устанавливать устройство дополнительной обработки сразу после гидросмешивания. Технологическая схема расположения агрегатов приготовления цементного раствора в этом случае выглядит, как показано на Рис. 7.

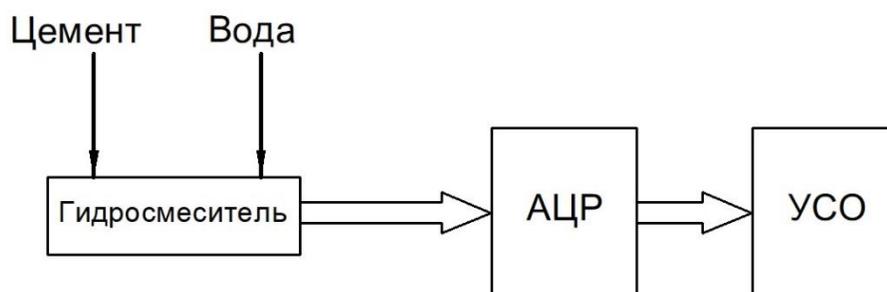


Рис. 7 Технологическая схема приготовления цементного раствора

Основным параметром, определяющим эффективность работы устройств ВСМА является размер активатора. Вследствие этого в начале проектирования устройств ВСМА необходимо, хотя бы в первом приближении, определиться с размерами активатора.

Входными параметрами для начала проектирования устройств ВСМА являются заданная производительность активации ЖС и размеры основного технологического оборудования, для которого разрабатывается устройство ВСМА.

При определении размеров активатора необходимо учитывать то обстоятельство, что при больших габаритах активатора соответственно будет расти и его масса. Для обеспечения резонансного режима работы устройства ВСМА при большой массе активатора потребуется обеспечивать и соответствующее большое значение жёсткости пружинного подвеса. Высокие значений жёсткости могут сказаться на увеличении габаритов узла подвеса активатора, что не всегда является приемлемым.

В общем случае, как это было отмечено ранее, активатор может выполняться прямоугольной или круглой формой. С позиций технологии изготовления активатора предпочтительным является круглая форма.

Существующая в настоящее время практика эксплуатации устройств ВСМА для обработки ЖС позволяет сформулировать следующую рекомендацию: величина внешнего диаметра отдельного активатора модуля устройств АЦР не должен превышать 100 мм. Указанное значение диаметра активатора рекомендуется выбирать для модуля ВСМА, работающего в ЖС, имеющей плотность более 2000 кг/м<sup>3</sup>.

Основываясь на данных рекомендациях, принимаем расчётный диаметр активатора АЦР

$$D=0,09 \text{ м}$$

Определим расчётное значение расхода жидкости при колебаниях активатора. Для этого:

Выбираем начальный зазор между активатором и стенкой корпуса модуля АЦР  $\delta_0=0,006$  м.

Выбираем расчётное значение частоты колебаний активатора  $f$ , равное 50 Гц. Тогда с учётом колебательного движения активатора устройств АЦР объём ЖС, выталкиваемый из-под активатора через специальные отверстия в нём за один час, определяется выражением:

$$Q_p = 2 \cdot S_{зах} \cdot X_m \cdot f \cdot 3600 = 12.89 \text{ м}^3 / \text{час} \quad (2.1.1.1)$$

где:  $S_{зах}$  - площадь захвата, являющаяся частью площади основания активатора;

$X_m$  - амплитуда колебаний активатора, м;

$f$  - частота колебаний активатора, Гц.

Амплитуда колебаний выбирается исходя из соображений, полученных опытным путем. Главная мысль полученных результатов заключается в том, что максимальная производительность достигается при максимально возможной амплитуде колебаний, что соответствует величине начального зазора (и является значением зазора), таким образом, принимаем

$$X_M = \delta_0 = 0,006 \text{ м}$$

Площадь захвата  $S_{\text{захв}}$  рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{зах}} = k \cdot S_{\text{осн}} = k \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,006 \text{ м}^2 \quad (2.1.1.2)$$

где:  $S_{\text{осн}}$  - площадь основания активатора,  $\text{м}^2$ ;

$k$  - коэффициент захвата.

Коэффициент  $k$  учитывает то обстоятельство, что не вся жидкость, находящаяся в объёме пространства зоны активации, участвует в образовании затопленных струй. Часть жидкости, находящаяся по периферии основания активатора при движении активатора к стенке ЭМП будет двигаться в обратном направлении основного потока жидкости, поэтому коэффициент  $k$  меньше 1,0. В практических расчётах значение  $k$  рекомендуется выбирать в пределах от 0,9 до 0,95, причём, чем больше размеры активатора, тем выше значение  $k$ .

Расчётная производительность активации ЖС устройством ВСМА с учётом необходимости многократного прохождения жидкости через зону активации рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{ра}} = \frac{Q_p}{Z},$$

Где:  $Q_p$  - расход жидкости через зону активации;

$Z$  – число попаданий одной порции ЖС в зону активации.

Количество попаданий одной порции ЖС в зону активации –  $Z$  для цемента принимаем равное 4.

Получаем расчётное значение расхода производительности активации одним активатором с учётом значения  $Z$ :

$$Q_{\text{ра}} = \frac{Q_p}{Z} = 3,22 \text{ м}^3 / \text{час} \quad (2.1.1.3)$$

Исходя из требуемой производительности, определим расчётное количество активаторов (модулей АЦР) для обеспечения производительности активации, заданной для разработки. Для этого используем формулу для расчета производительности:

$$Q_{pa} = Q \cdot N,$$

Отсюда получим требуемое количество активаторов

$$N = \frac{Q}{Q_{pa}} = 3.1 \quad (2.1.1.4)$$

Принимаем количество активаторов  $N = 4$  шт.

Таким образом, для обеспечения необходимой производительности обработки цементного раствора необходимо использовать четыре модуля.

## 2.2 Расчеты размеров электромагнита и активатора

Электромагнит устройства ВСМА представляет собой конструкцию, состоящую из якоря, сердечника магнитопровода и обмоток. В качестве якоря в устройстве ВСМА выступает активатор, который относится к элементам колебательной системы. Сердечник электромагнита выполнен из пакета П-образной листовой стали толщиной не более 1 мм. Учитывая форму и размеры сердечника, а также принимая во внимание экономию обмоточного провода используем две обмотки на каждом стержне сердечника. [7]

Расчётный наружный диаметр активатора  $D_{an}$  выбирается по рекомендациям. Остальные основные размеры конструкции активатора можно определить исходя из требований пропорциональности, ориентируясь на наружный диаметр активатора.

Исходя из принципа действия, целесообразно выполнять активатор устройства ВСМА в поперечном сечении в виде усеченного конуса. Его основание должно быть обращено к корпусу модуля АЦР. В действии

активатора предполагается выполнение нескольких функций, одной из которых является формирование затопленной струи, обрабатываемой ЖС. Данная функция реализуется конструкцией, для чего требуется в теле активатора выполнить струеобразующее круговое конусное отверстие. Угол раствора конусного отверстия  $\theta_{кв}$  выбирается в диапазоне от 60 до 70 градусов. Такие значения позволяют добиться оптимального режима образования затопленной струи ЖС. Также немаловажным параметром для образования струи является высота образующей поверхности струеобразующего конуса. Для сохранения благоприятного режима струеобразования рекомендуется выбирать высоту активатора  $H_a$  в пределах  $(0,19 \div 0,21)$  от величины  $D_{ан}$ . Также следует учитывать, что общая высота активатора включает в себя не только высоту усеченного струеобразующего конуса, но и толщину перемычки  $h_{п}$ , которая играет роль фиксатора внутренней части активатора, и высоту захода жидкости  $h_3$  в конусное отверстие.

Перемычка, обеспечивающая прочность соединения внутренней части активатора с основной конструкцией, должна быть толщиной  $h_{п}$ , не менее 3 мм. Размер высоты захода жидкости в струеобразующее конусное отверстие  $h_3$  рекомендуется выбирать в пределах от 3 до 5 мм. Большее значение высоты захода жидкости соответствует активатору большего размера.

Кольцевая часть основания активатора, соответствующая полюсам сердечника электромагнита, должна иметь ширину  $b_к$  не менее ширины полюса сердечника  $b1$ . Как правило, ширина кольцевой части основания активатора  $b_к$  выбирается равной  $(1,0 \div 1,1)$  от ширины полюсного наконечника сердечника  $b1$ .

Конусный уклон поверхности активатора, не обращенный к стенке корпуса модуля ВСМА, обеспечивает меньшее гидравлическое сопротивление при движении активатора в направлении от стенки корпуса модуля ВСМА.

Угол раствора данного конусного уклона  $\theta_{кв}$  выбирается при выполнении эскиза активатора, ориентируясь на общие подходы конструирования.

Как было отмечено ранее размеры сердечника и наружный диаметр активатора являются взаимосвязанными. Длина ярма сердечника электромагнита  $B1$  для устройств ВСМА соответствует  $(0,95 \div 1,0)$  от величины наружного диаметра активатора  $D_{ан}$ . Все остальные размеры сердечника магнитопровода модуля ВСМА можно выбрать, исходя из установленных практикой пропорций выполнения многочисленных устройств электромагнитного типа. Ширина полюсного наконечника сердечника  $b1$  составляет  $(0,15 \div 0,2)$  от длины ярма  $B1$ . Высота ярма сердечника  $h1$  принимается равной  $(1,3 \div 1,5)$  от  $B1$ . Длина полюсного наконечника сердечника  $k1$  выбирается равной  $(0,3 \div 0,4)$  от  $H1$ . Высоту стержня сердечника  $H1$  можно принять равной  $(1,0 \div 1,1)$  от  $B1$ . Все основные пропорции для расчета основных размеров активатора и электромагнита сведены в таблицу. В (Приложения А, Б) проиллюстрирован общий вид магнитопровода и активатора для определения размеров, а основные соотношения размеров сведены в таблицу 3.

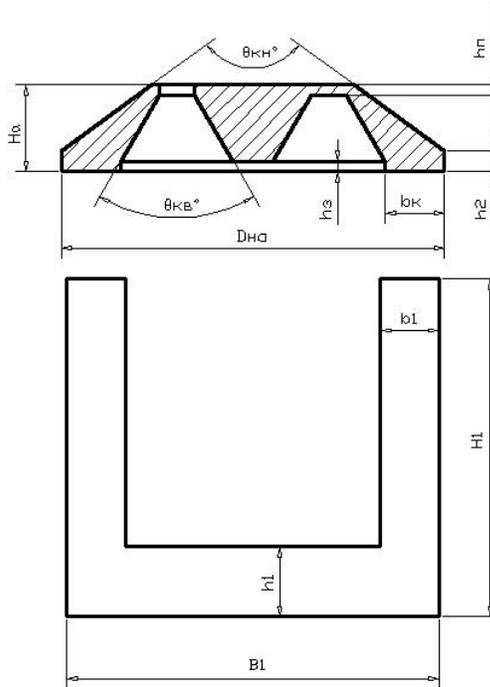


Рисунок 8 – Определение размеров конструкции активатора

Таблица 3 – основные соотношения для расчета размеров активатора и электромагнита

| Размер активатора, индуктора                 | Рекомендованные соотношения                             |
|--|---|
| Наружный диаметр активатора, $D_{ан}$        | $D_{ан}$ выбирается, исходя из реологических свойств ЖС |
| Высота активатора, $H_a$                     | $H_a = (0,19 \div 0,21) D_{ан}$                         |
| Длина ярма индуктора, $B1$                   | $B1 = (0,85 \div 1,0) D_{ан}$                           |
| Ширина полюсного наконечника индуктора, $b1$ | $b1 = (0,15 \div 0,2) B1$                               |
| Длина полюсного наконечника индуктора, $A1$  | $A1 = (0,3 \div 0,4) B1$                                |
| Ширина кольцевой части активатора, $b_k$     | $b_k = (1,0 \div 1,1) b1$                               |
| Высота стержня индуктора, $H1$               | $H1 = (1,0 \div 1,1) B1$                                |
| Высота ярма индуктора, $h1$                  | $h1 = (1,3 \div 1,5) b1$                                |

Основываясь на указанных рекомендациях, произведем расчет размеров активатора и электромагнита.

Диаметр активатора

$$D_{ан} = 0,09 \text{ м}$$

Высота активатора

$$H_a = 0,022 \text{ м}$$

Расчётная длина ярма сердечника магнитопровода:

$$B1 = 0,95 \cdot D = 0,95 \cdot 0,09 = 0,0855 \text{ м} \quad (2.2.1)$$

Выбираем  $B1 = 0,08 \text{ м}$ .

Ширина полюсного наконечника сердечника:

$$b1 = 0,18 \cdot B1 = 0,18 \cdot 0,2 = 0,016 \text{ м} \quad (2.2.2)$$

Выбираем  $b1 = 0,015 \text{ м}$ .

Ширина кольцевой части основания активатора:

$$b_k = 1,05 \cdot b1 = 1,05 \cdot 0,016 = 0,0168 \text{ м} \quad (2.2.3)$$

Выбираем  $b_k = 0,017 \text{ м}$ .

Длина полюсного наконечника сердечника:

$$A1 = 0,35 \cdot B1 = 0,35 \cdot 0,9 = 0,0315 \text{ м} \quad (2.2.4)$$

Выбираем  $A1 = 0,03 \text{ м}$ .

Высота стержня сердечника:

$$H1 = 1,1 \cdot B1 = 1,1 \cdot 0,08 = 0,088 \text{ м} \quad (2.2.5)$$

Выбираем  $H1 = 0,0945 \text{ м}$ .

Высота ярма сердечника:

$$h1 = 1,4 \cdot b1 = 1,4 \cdot 0,016 = 0,022 \text{ м} \quad (2.2.6)$$

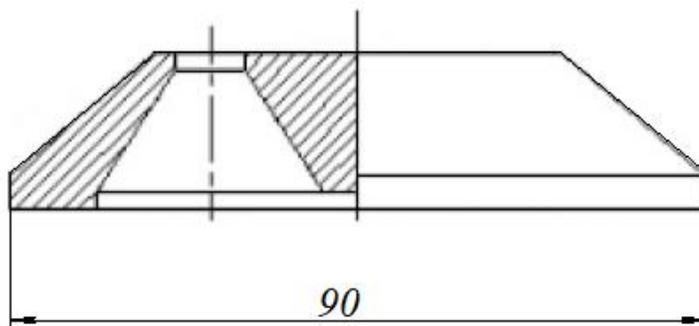
Выбираем  $h1 = 0,022 \text{ м}$ .

Анализируя полученные размеры, было выявлено, что в данном случае недостаточно следовать только соотношениям пропорциональности, а необходимо также учитывать конструктивные особенности установки и накладываемые при этом ограничения. В связи с этим, полученные размеры были скорректированы и сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – основные размеры активатора и электромагнита

| $D_{ан}, \text{ м}$ | $H_a, \text{ м}$ | $B1, \text{ м}$ | $b1, \text{ м}$ | $b_k, \text{ м}$ | $A1, \text{ м}$ | $H1, \text{ м}$ | $h1, \text{ м}$ |
|---------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 0,09                | 0,022            | 0,08            | 0,015           | 0,017            | 0,03            | 0,0945          | 0,022           |

Из полученных расчетных и скорректированных данных создадим эскизы активатора и электромагнита, которые изображены на рисунке 9.



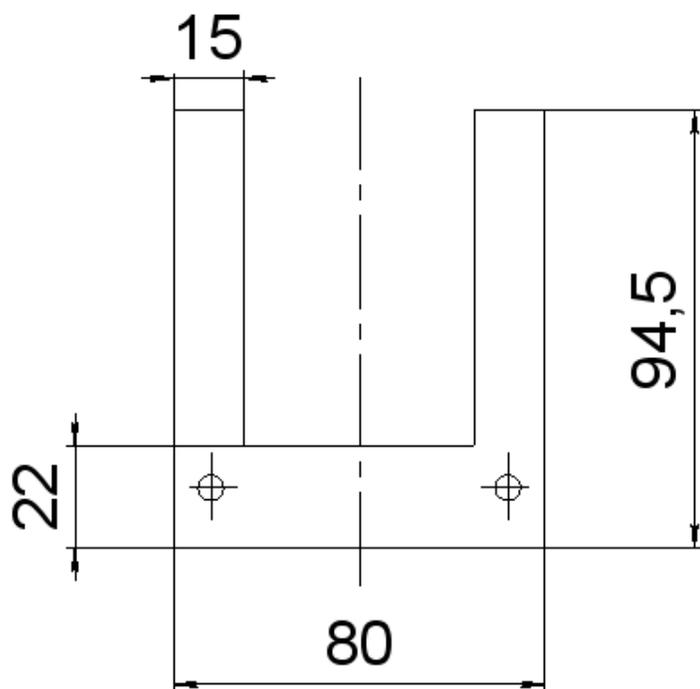


Рисунок 9 - эскизы активатора и электромагнита

### 2.3 Параметры обмоток электромагнита модуля ВСМА

Расчёт обмоточных данных электромагнита модуля ВСМА сводится к выбору диаметра обмоточного провода, определению числа витков в каждой из катушек, длины обмоточного провода и вычислению их активных и индуктивных сопротивлений. Принимая во внимание рекомендации по выбору диаметра активатора модуля ВСМА и соответствующих размеров сердечника электромагнита, по технологическим соображениям процесса намотки следует выбирать обмоточный провод круглого сечения диаметром от 0,2 до 2 мм. Учитывая П-образную форму листа сердечника, витки обмоток могут быть уложены только во внутреннее пространство, расположенное между стержнями сердечника магнитопровода. Тогда общее количество витков обмоток электромагнита будет зависеть от площади межстержневого пространства

сердечника и площади сечения обмоточного провода с учётом толщины изоляции. Кроме этого при расчёте количества витков обмоток следует иметь в виду, что не всё пространство между стержнями сердечника можно заполнить обмоточным проводом. Во-первых, часть этого пространства необходимо предоставить изоляционным деталям каркаса обмоток. Каркас обмоток электромагнита рекомендуется выполнять из листов текстолита толщиной  $\Delta l = (1 \div 2)$  мм. Далее необходимо выдерживать минимальные воздушные зазоры между соседними обмотками, между обмоткой и металлическими деталями корпуса модуля ВСМА. Минимальное расстояние между обмотками  $P$  должно быть не менее 2 мм. Минимальное расстояние между обмотками и металлическими частями корпуса модуля ВСМА  $D$  должно быть не менее 4 мм. И последнее, при выборе числа витков обмотки необходимо учитывать коэффициент заполнения окна сердечника магнитопровода витками обмоточного провода при намотке катушки. На основании выше изложенного произведем расчет параметров обмоток магнитопровода [7, 8].

Площадь окна сердечника магнитопровода для размещения обмоток:

$$S_{\text{окн}} = (B_1 - 2b_1 - 2\Delta l - P) \cdot (H_1 - h_1 - 2\Delta l - D)$$

Принимаем:  $\Delta l = 0,002$  м;  $P = 0,002$  м;  $D = 0,004$  м.

Тогда

$$S_{\text{окн}} = (0,08 - 2 \cdot 0,015 - 2 \cdot 0,002 - 0,002) \cdot (0,0945 - 0,022 - 2 \cdot 0,002 - 0,004) = 0,002838 \text{ м}^2 \quad (2.3.1)$$

Расчетное количество витков в обмотке магнитопровода:

$$W_p = \frac{2S_{\text{окн}} k_{\text{зан}}}{\pi d_{\text{пр.л}}^2}$$

Принимаем коэффициент заполнения окна сердечника магнитопровода обмоточным проводом  $k_{зан} = 0,7$ . Выбираем обмоточный провод марки ПЭТВ диаметром жилы  $d_{пр} = 1,4$  мм и диаметром провода в изоляции  $d_{пр.и} = 1,49$  мм.

$$W_p = \frac{2 \cdot 0,002838 \cdot 0,7}{\pi \cdot 0,00149^2} = 570 \quad (2.3.2)$$

Принимаем  $W=1100$  Далее пересчитать

Допустимая толщина слоев обмотки, м:

$$\Delta t = \frac{B1 - 2b1 - 2\Delta 1 - P}{2} = \frac{0,08 - 2 \cdot 0,015 - 2 \cdot 0,002 - 0,002}{2} = 0,022 \quad (2.3.3)$$

Расчетное количество слоев обмотки:

$$N_{сл} = \frac{\Delta t}{d_{пр.и}} = \frac{0,022}{0,00149} = 14,8 \quad (2.3.4)$$

Принимаем  $N_{сл} = 20$

Расчетное значение длины среднего витка обмотки, м:

$$l_{cp} = 2(b1 + A1 + 2\Delta 1) + 2\pi \cdot r_{скр.об} = 2(0,015 + 0,03 + 2 \cdot 0,002) + 2\pi \cdot 0,016 = 0,198 \quad (2.3.5)$$

где:  $r_{скр.об}$  - средний радиус закругления углов обмотки

Средний радиус закругления углов обмотки, м

$$r_{скр.об} = \frac{(N_{сл} + 1)d_{пр.и}}{2} = \frac{(20 + 1) \cdot 0,00149}{2} = 0,016 \quad (2.3.6)$$

где:  $d_{пр.и}$  - диаметр обмоточного провода в изоляции, м.

Умножая длину среднего витка обмотки на количество витков, получим расчётную длину обмоточного провода, идущего на изготовление одной обмотки.

Расчетное значение длины провода обмотки, м:

$$l_{об} = W \cdot l_{cp} = 1100 \cdot 0,198 = 217,8 \quad (2.3.7)$$

где:  $l_{cp}$  - длина среднего витка обмотки, м;

$W$  – количество витков в обмотке.

По полученным расчётным значениям основных размеров магнитопровода и обмоток выполняется эскиз электромагнитной части модуля ВСМА, который приведен на рисунке 2.3. В ходе конструирования электромагнита модуля ВСМА необходимо предусматривать элементы крепления электромагнита в общей конструкции модуля ВСМА.

#### 2.4 Конструирование пружинного подвеса

Массу активатора можно рассчитать, воспользовавшись условным разделением тела активатора на составляющие фигуры. На рисунке 10 приведено поперечное сечение активатора с разбиением его на составляющие фигуры 1, 2, 3, 4, 5 и 6. [7]

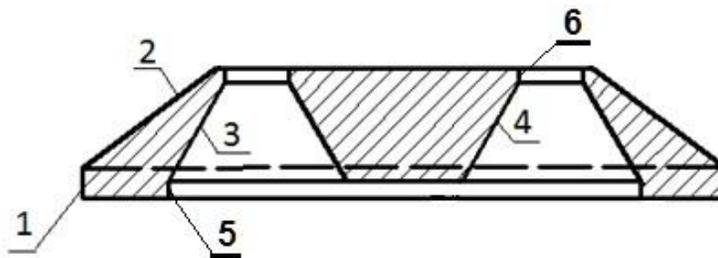


Рисунок 10 - К определению массы активатора

1 – полый цилиндр (кольцо) основания активатора;

2 – усечённый конус, образованный внешней образующей формы активатора;

3 – усечённый конус, образованный внешней образующей полости внутри активатора;

4 – усечённый конус, образованный внутренней образующей полости внутри активатора;

5 – полый цилиндр (кольцо) захода полости внутри активатора;

6 – полый цилиндр (кольцо) выходного отверстия полости внутри активатора.

Масса активатора:

$$M_a = \rho_{м.а.} \cdot V_a ,$$

где:  $\rho_{м.а.}$  – объёмная плотность материала активатора;

$V_a$  – объём конструкции активатора, занимаемый материалом.

Принимаем  $\rho_{м.а.} = 7800 \text{ кг/м}^3$  объёмная плотность магнитопроводящей конструкционной стали.

$$V_a = V1 + V2 - V3 + V4 - V5 - V6,$$

где:  $V1$  – объём полого цилиндра 1;

$V2$  – объём усечённого конуса 2;

$V3$  – объём усечённого конуса 3;

$V4$  – объём усечённого конуса 4;

$V5$  – объём полого цилиндра (кольца) 5;

$V6$  – объём полого цилиндра (кольца) 6.

Расчётный объём материала составных частей активатора кольцевого типа рассчитывается по формуле:

$$V_k = \frac{\pi}{4} (D_n^2 - D_{вн}^2) ,$$

где:  $D_n$  – внешний диаметр кольца;

$D_{вн}$  – внутренний диаметр кольца.

Расчётный объём материала составных частей активатора типа усечённый конус рассчитывается по формуле:

$$V_{у.к.} = \frac{1}{3} \pi H_{у.к.} (R_{осн.}^2 + R_{осн.} \cdot R_{в.ч.} + R_{в.ч.}^2) ,$$

где:  $H_{у.к.}$  – высота усечённого конуса;

$R_{осн.}$  – радиус основания усечённого конуса;

$R_{в.ч.}$  – радиус верхней части усечённого конуса.

Для активатора с основными размерами, приведёнными на рисунке 8, расчётный объём материала активатора составил  $0,000576923 \text{ м}^3$ , а расчётная масса активатора -  $M_a = 4,5 \text{ кг}$ .

Для определения значения присоединённой массы ЖС необходимо знать объёмную плотность обрабатываемой жидкости. По условиям задания устройство ВСМА предназначено для обработки цементного раствора. Среднее значение объёмной плотности цемента можно принять равной  $800 \text{ кг/м}^3$ .

$$M_{np} = \frac{8}{3} \cdot \rho_{жс} \left(\frac{D_{на}}{2}\right)^3 = \frac{8}{3} \cdot 800 \cdot \left(\frac{0,2}{2}\right)^3 = 2,133 \text{ кг} \quad (2.4.1)$$

Общая масса подвижных частей механической части модуля ВСМА:

$$M = M_a + M_{np} = 4,5 + 2,133 = 6,633 \text{ кг} \quad (2.4.2)$$

Согласно рекомендациям раздела, изложенного в [7], принимаем значение абсолютной собственной частоты колебательной системы модуля ВСМА  $f_0 = 70 \text{ Гц}$ .

Соответствующая угловая частота:

$$\omega_0 = 2\pi \cdot f_0 = 439,823 \text{ с}^{-1} \quad (2.4.3)$$

Расчётное значение жёсткости пружинного подвеса активатора модуля ВСМА:

$$q_{пр} = \omega_0^2 \cdot M_a = 439,823^2 \cdot 4,5 = 870,5 \cdot 10^3 \text{ Н / м} \quad (2.4.4)$$

Расчётное значение жёсткости одной пружины при этом составит:

$$q_{л} = \frac{q_{пр}}{2} = \frac{870,5 \cdot 10^3}{2} = 435,25 \cdot 10^3 \text{ Н / м} \quad (2.4.5)$$

Расчётное значение собственной угловой частоты работы активатора модуля ВСМА при работе в жидкой среде:

$$\omega_{0,ж} = \sqrt{\frac{q_n}{M_a + M_{np}}} = \sqrt{\frac{870500}{6,633}} = 348,518 \text{ c}^{-1} \quad (2.4.6)$$

Частота собственных колебаний активатора в жидкости при этом будет равна:

$$f_{0,ж} = \frac{\omega_{0,ж}}{2\pi} = \frac{348,518}{2 \cdot 3,14} = 55,468 \text{ Гц} \quad (2.4.7)$$

Производим уточняющие несколько раз расчёты жёсткости пружины с помощью выражения:

$$q = \frac{E \cdot d_{np}^4}{8 \cdot n \cdot D_{np}^3},$$

где:  $E$  – модуль сдвига, МПа (сталь);

$d_{np}$  – диаметр пружинной проволоки, м;

$n$  – число витков в пружине;

$D_{np}$  – средний диаметр пружины, м.

Путём перебора значений диаметра пружинной проволоки, среднего диаметра пружины и числа витков выбираются такие их значения, которые обеспечивают требуемое значение жёсткости пружины подвеса.

В результате перебора вариантов останавливаемся на следующем:

- диаметр пружинной проволоки,  $d_{np} = 6$  мм;
- наружный диаметр пружины,  $D_{np} = 24$  мм;
- средний диаметр пружины,  $D_{cp,np} = 18$  мм;
- количество рабочих витков пружины,  $n = 5$ .

Расчётное значение жёсткости для выбранной пружины составляет  $q_n = 444,4 \cdot 10^3 \text{ Н / м}$ .

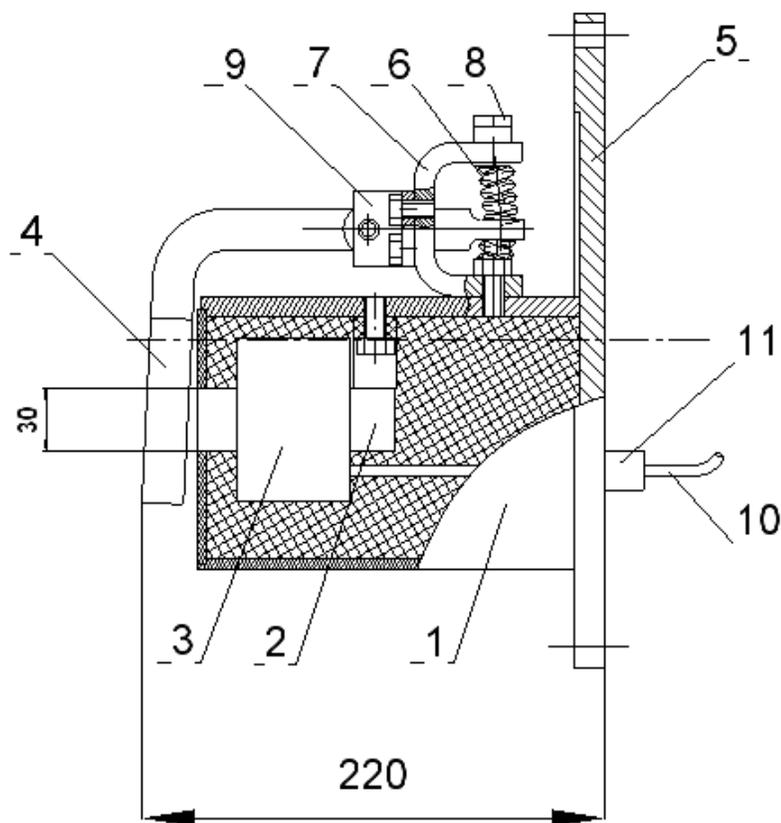
Для выполнения чертежа пружины необходимо определиться с высотой пружины. При колебаниях активатора максимальная деформация пружины должна составлять с учётом расчётного воздушного зазора не менее 2,3 мм.

Помимо этого, пружина должна быть предварительно сжата для обеспечения её работы с нагрузкой в зоне без знакопеременных деформаций. Предварительное сжатие при этом должно быть не менее чем деформация при колебаниях активатора. Выбираем величину предварительного сжатия, равную 3 мм. В этом случае высота пружины в свободном состоянии должна быть не менее:

$$H_{np} = k \cdot n \cdot d_{np} + 2,3 + 3 = 1,5 \cdot 5 \cdot 6 + 2,3 + 3 = 50,3 \text{ мм} \quad (2.4.8)$$

Таким образом, нами определены все необходимые размеры для выполнения чертежей активатора, электромагнита и пружины.

Имея габаритные размеры основных элементов установки АЦР, можно приступить к конструированию всей колебательной системы устройства ВСМА. На рисунках 11 и 12 представлен вид одного из возможных вариантов сконструированной колебательной системы устройства модуля ВСМА в реальных пропорциях.



1 – корпус АЦР; 2 – индуктор магнитопровода; 3 – обмотки электромагнита; 4 – активатор; 5 – фланец; плечо коромысла; 6 – пружины подвеса активатора; 7 – стойка крепления пружинного подвеса; 8 – винт регулировочный; 9 – шарнир; 10 – кабель; 11 – герметичный ввод кабеля.

Рисунок 11 – Общий вид модуля АЦР (вид сбоку)

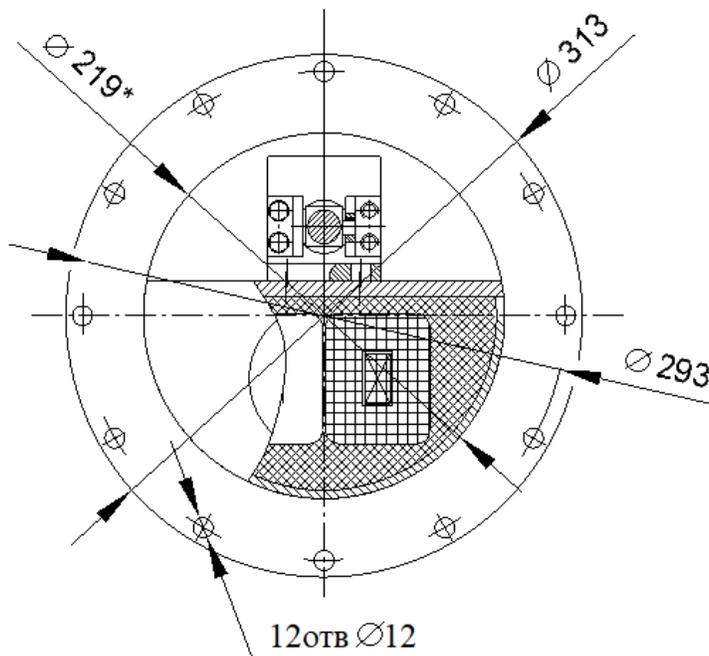
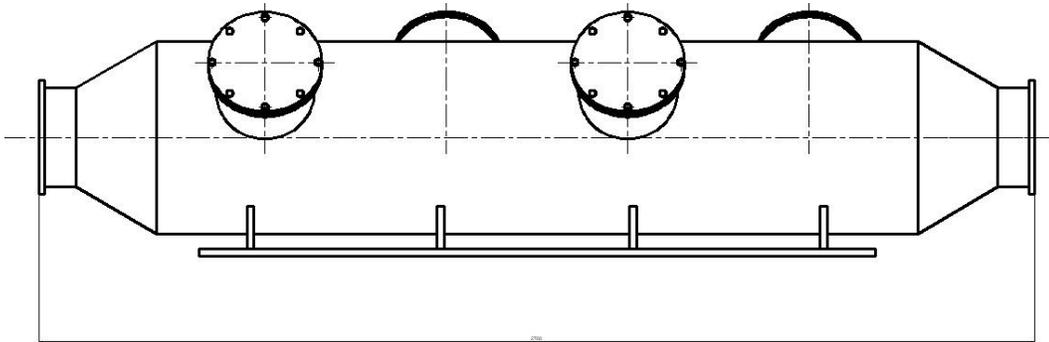


Рисунок 12 - Конструкция модуля АЦР (вид сверху)

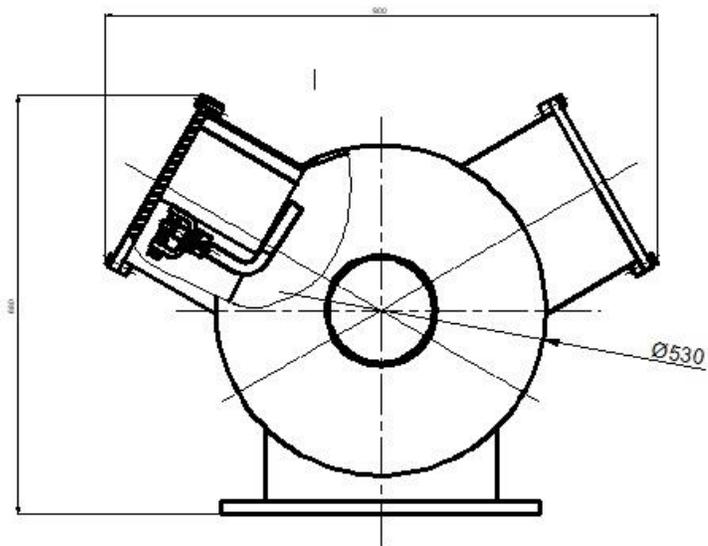
Ранее нами было определено, что для обеспечения требуемой производительности приготовления цементного раствора необходимо использовать четыре модуля. Исходя из этого, общее конструктивное решение установки АЦР может быть представлено, как это показано на Рис. 13. Четыре модуля виброобработки размещены в трубе диаметром 530 мм. Для обработки цементного раствора по ходу движения смеси модули смещены друг относительно друга на расстояние 500 мм и под углом 120 градусов.

Внутренняя герметичная полость корпуса устройства АЦР заливается изоляционным компаундом. В качестве изоляционного компаунда рекомендуется использовать компаунд марки КЭУ-1. [9]

АЦР



а)



б)

Рис. 13 Конструкция АЦР: а – вид сбоку, б – вид с торца

### 3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АЦР

Электрический контур модуля АЦР образован двумя группами обмоток по две обмотки в каждой, подключаемыми к источнику переменного напряжения. Группы обмоток модуля АЦР могут соединяются параллельно.

Электрическая схема замещения модуля АЦР приведена на Рис.14. На данной схеме:  $L1, L2$  – индуктивности обмоток основного контура;  $R1, R2$  – активные сопротивления обмоток;  $M$  – взаимная индуктивность между основными обмотками;  $L1_{кз}, L2_{кз}, R1_{кз}, R2_{кз}$  – индуктивности и активные сопротивления короткозамкнутых контуров, образованных стенкой корпуса модуля АЦР;  $M11_{кз}, M22_{кз}$  – взаимная индуктивность между короткозамкнутыми контурами стенки корпуса модуля АЦР и основными обмотками;  $L3_{кз}, L4_{кз}, R3_{кз}, R4_{кз}$  – индуктивности и активные сопротивления короткозамкнутых контуров, образованных массивным активатором;  $M13_{кз}, M24_{кз}$  – взаимная индуктивность между короткозамкнутыми контурами массивного активатора и основными обмотками;  $M13, M24$  – взаимная индуктивность между короткозамкнутыми контурами стенки корпуса и массивного активатора модуля АЦР. В силу симметричности параметров схемы замещения можно ввести некоторые эквивалентные параметры:

$$\begin{aligned} R1 = R2 = R; \quad L1 = L2 = L; \quad M11_{кз} = M22_{кз} = M_{кз}; \quad R1_{кз} = R2_{кз} = R_{кз1}; \\ R3_{кз} = R4_{кз} = R_{кз2}; \quad L1_{кз} = L2_{кз} = L_{кз1}; \quad L3_{кз} = L4_{кз} = L_{кз2}; \\ M13 = M24 = M2_{кз}; \quad M13_{кз} = M24_{кз} = M1_{кз} \end{aligned}$$

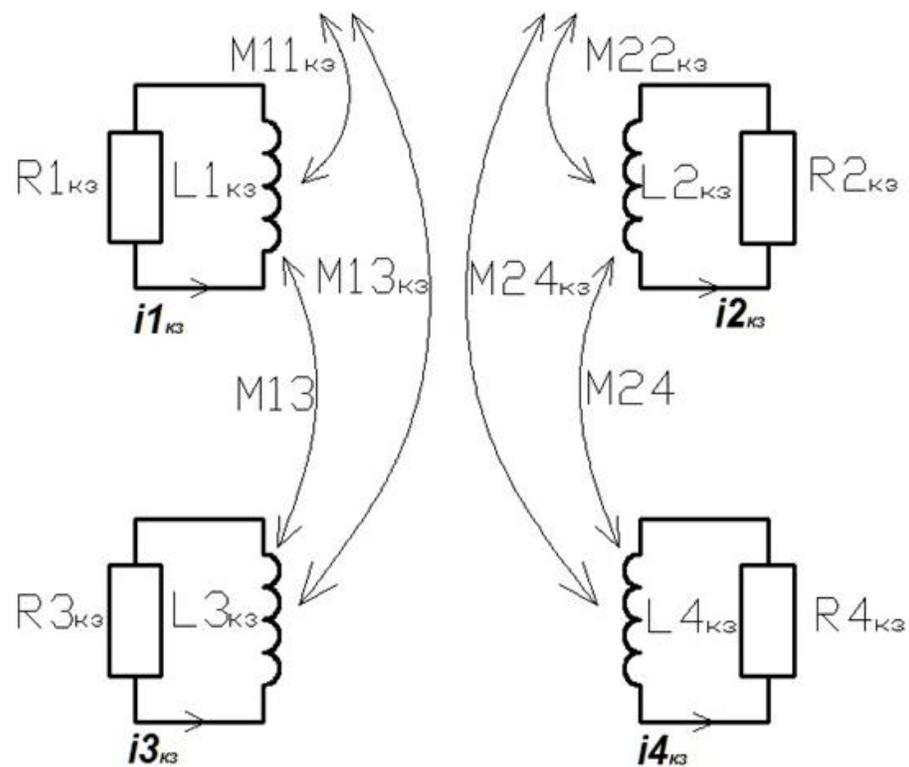
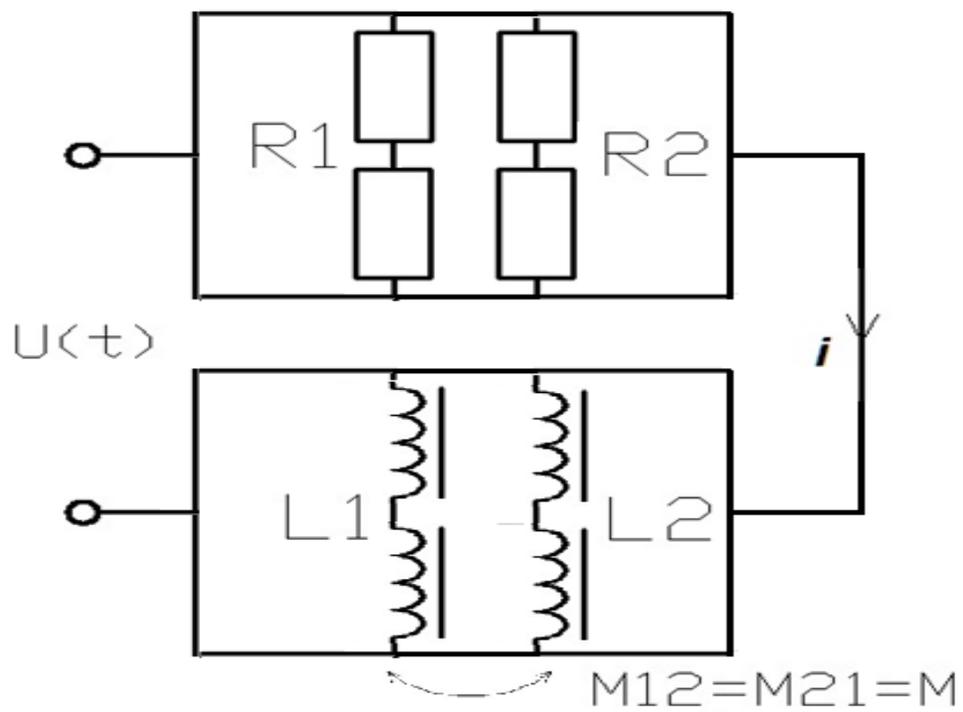


Рисунок 14 – Электрическая схема замещения

### 3.1 Активное сопротивление обмотки модуля ВСМА

Для известных значений длины провода обмотки  $R_{об}$ , материала и диаметра обмоточного провода определяем величину активного сопротивления обмотки при нормальных условиях: [7, 9]

$$R_{об} = 4 \cdot \rho_m \cdot \frac{l_{np.об}}{\pi \cdot d_{np}^2} = 4 \cdot 0,0175 \cdot \frac{259,6}{3,14 \cdot 1,4^2} = 2,953 \text{ Ом} \quad (3.1.1)$$

$\rho_m = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$  удельное сопротивление меди.

Активное сопротивление обмотки в нагретом состоянии определяем из условий перегрева обмотки в рабочем состоянии на  $55 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$$R_{об.гор} = R_{об} \cdot (1 + \tau_m \cdot \Delta T) = 2,953 \cdot (1 + 0,0038 \cdot 55) = 3,573 \text{ Ом} \quad (3.1.2)$$

$\Delta T = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ , перепад температуры в обмотке модуля ВСМА;

$\tau_m = 0,0038 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , температурный коэффициент удельного сопротивления меди.

### 3.2 Расчётное начальное значение индуктивности обмотки модуля

#### АЦР

Для расчёта индуктивности обмотки модуля АЦР необходимо определить некоторые дополнительные данные:

$\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$  - магнитная проницаемость вакуума (воздуха).

$\mu_{сер} = (1500 \div 1600)$  – относительная магнитная проницаемость материала сердечника магнитопровода модуля АЦР. Сердечник магнитопровода выполняем из листов стали Ст.10 толщиной 0,5 мм. Указанные значения относительной магнитной проницаемости соответствуют ненасыщенному участку кривой намагничивания для стали Ст.10.

Площадь поперечного сечения стержня сердечника магнитопровода:

$$S_{сер} = A1 \cdot b1 = 0,045 \cdot 0,02 = 9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (3.2.1)$$

$k = 4,5$  – конструктивный коэффициент для спроектированного исполнения электромагнита модуля АЦР.

Расчётная длина средней линии замыкания магнитного потока электромагнита:

$$l_m = 2 \cdot (H1 - h1) + 2 \cdot (B1 - b1) + 2 \cdot \Delta_{ct}$$

где:  $\Delta_{ct} = 0,001$  мм - толщина стенки корпуса модуля АЦР.

$$l_m = 2 \cdot (0,12 - 0,025) + 2 \cdot (0,11 - 0,02) + 2 \cdot 0,001 = 0,372 \text{ м} \quad (3.2.2)$$

$\Delta t = 0,04$  м - расчётная толщина слоёв обмотки электромагнита.

Расчётное значение индуктивности обмотки электромагнита при начальном зазоре 6 мм при  $kI=5$  и  $\sigma=10$

Расчётное выражение для определения собственной индуктивности одной обмотки с учётом особенностей магнитной системы модуля АЦР выглядит следующим образом:

$$L = \frac{\mu_0 \mu_{сеп} W^2 S_{сеп}}{kI \cdot \left( \frac{\delta_0}{\sigma} \mu_{сеп} + l_m \right) + 10 \cdot \Delta t},$$

где:  $\mu_0$  – магнитная постоянная;

$\mu_{сеп}$  – относительная магнитная проницаемость материала сердечника магнитопровода;

$S_{сеп}$  – поперечное сечение сердечника магнитопровода;

$W$  - количество витков в обмотке;

$kI$  – конструктивный коэффициент;

$\sigma$  – коэффициент, учитывающий рассеяние;

$\delta_0$  – величина зазора;

$l_m$  – длина средней линии замыкания магнитного потока;

$\Delta t$  – толщина обмотки.

$$L = \frac{1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 1500 \cdot 1100^2 \cdot 9 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot \left(\frac{0,006}{10} \cdot 1500 + 0,372\right) + 10 \cdot 0,04} = 0,3037 \text{ Гн} \quad (3.2.3)$$

### 3.3 Расчётное начальное значение взаимной индуктивности основных

#### обмоток

Выражение для определения расчётного значения взаимной индуктивности обмоток равно: [7, 9]

$$M = \frac{\mu_0 \mu_{сеп} W^2 S_{сеп}}{k_2 \cdot \left(\frac{\delta_0}{\sigma} \mu_{сеп} + l_m\right) + 10 \cdot \Delta t},$$

где:  $k_2$  – конструктивный коэффициент, учитывающий взаимное расположение обмоток.

При  $k_2 = 10$

$$M = \frac{1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 1500 \cdot 1100^2 \cdot 9 \cdot 10^{-4}}{10 \cdot \left(\frac{0,006}{10} \cdot 1500 + 0,372\right) + 10 \cdot 0,04} = 0,155 \text{ Гн} \quad (3.3.1)$$

### 3.4 Расчётное активное сопротивление короткозамкнутого

#### витка, образованного стенкой корпуса модуля АЦР

Для расчёта активного сопротивления к.з.к необходимо предварительно определить:

эквивалентный диаметр к.з.к.

$$D_{кз} = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{0,045^2 + 0,02^2} = 0,049 \text{ м} \quad (3.4.1)$$

и площадь эквивалентного сечения к.з.к.

$$S_{кз} = \frac{D_{кз}}{4} \cdot H_a \cdot 10^6 = \frac{0,049}{4} \cdot 0,045 = 553,998 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \quad (3.4.2)$$

Расчётное активное сопротивление к.з.к., выполненного из немагнитной нержавеющей стали:

$$R_{кз} = \rho_{кз} \cdot \frac{\pi \cdot l_{кз}}{S_{кз}} = 0,047 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,077}{553,998} = 2,061 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \quad (3.4.3)$$

$P_{н.ст.} = 0,047 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$  удельное сопротивление нержавеющей стали.

### 3.5 Расчётное начальное значение индуктивности к.з.к.

Диаметр условного витка к.з.к.:

$$d_{кз} = \sqrt{2 \cdot h_{кз} \cdot \frac{D_{кз} - b1}{\pi}} = \sqrt{2 \cdot 0,023 \cdot \frac{0,049 - 0,02}{3,14}} = 0,027 \text{ м} \quad (3.5.1)$$

$$L_{кз} = \mu_0 \cdot \pi \cdot D_{кз} \cdot (\ln(8 \cdot \frac{D_{кз}}{d_{кз}}) - 1,75) = 6,722 \cdot 10^{-8} \text{ Гн} \quad (3.5.2)$$

### 3.6 Расчётное начальное значение взаимной индуктивности обмоток основного контура и к.з.к.

Расчёт производим по формуле:

$$M_{кз} = \frac{W \cdot \mu_0 \cdot S_{пол}}{(X_0 - x) + h_{об}} = \frac{1100 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 9 \cdot 10^{-4}}{(7 \cdot 10^{-3} - 0) + 0,049} = 1,22 \cdot 10^{-5} \text{ Гн} \quad (3.6.1)$$

### 3.7 Расчётное значение коэффициента потерь на вязкое трение

Принимаем для ЖС со средним значением коэффициента вязкости величину  $K_f = 0,5$ . [7, 9]

При этом:

$$\omega_{ржс} = 2\pi \cdot f_{0жс} \cdot K_f = 2 \cdot 3,14 \cdot 57,655 \cdot 0,5 = 362,26 \text{ с}^{-1} \quad (3.7.1)$$

$$R_{мех} = \sqrt{2 \cdot (M_a + M_{np}) \cdot (\omega_{0жс}^2 - \omega_{ржс}^2)} = \sqrt{2 \cdot (4,5 + 2,667) \cdot (362,26^2 - 174,259^2)} = 1,202 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м} \quad (3.7.2)$$

Принимаем  $R_{\text{мех}} = 1500 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$ .

В результате расчётов составим таблицу 5 постоянных коэффициентов системы дифференциальных уравнений.

Таблица 5 - Постоянные коэффициенты системы дифференциальных уравнений

| Параметр   | Обозначение      | Значение              |
|--|------------------|-----------------------|
| Активное сопротивление обмоток электромагнита, Ом      | $R$              | 2,953                 |
| Активное сопротивление к.з.к, Ом                       | $R_{\text{кз}}$  | $2,061 \cdot 10^{-5}$ |
| Жёсткость пружины подвеса активатора, Н/м              | $q_{\text{пр}}$  | $435,25 \cdot 10^3$   |
| Расчётная жёсткость пружинного подвеса активатора, Н/м | $q_{\text{л}}$   | $870,5 \cdot 10^3$    |
| Масса подвижных элементов модуля АЦР, кг               | $M$              | 2,667                 |
| Коэффициент механических потерь начальный, Н·с/м       | $R_{\text{мех}}$ | 1500                  |

### 3.8 Система дифференциальных уравнений модуля АЦР

Используя систему дифференциальных уравнений работы модуля АЦР и постоянные коэффициенты таблицы 8, составляем алгоритм вычислений в программной среде Mathcad 15 и производим анализ режимов работы методом Рунге-Кутты. [7, 10]

#### ВЫВОДЫ

В результате проведённых расчётов

1. Определены габаритные размеры модуля виброобработки цементного раствора и разработана общая конструкция установки АЦР.

2. Рассчитаны электрические и механические параметры модуля АЦР, необходимые для подстановки в уравнения математической модели.

$$\frac{di}{dt} = \frac{U_m \cdot \sin(\omega t) - 2i \cdot \left( R + \frac{dL}{dx} \cdot y + \frac{dM_{12}}{dx} \cdot y - 2 \cdot \frac{M_{1(2)k3}}{L_{k3}} \cdot \frac{dM_{1(2)k3}}{dx} \cdot y \right) - 2i_k \cdot \left( -\frac{dM_{1(2)k3}}{dx} \cdot y - \frac{M_{1(2)k3}}{L_{k3}} \left( R_{k3} + \frac{dL_{k3}}{dx} \cdot y \right) \right)}{2(L + M_{12} - 2 \cdot \frac{M_{1(2)k3}^2}{L_{k3}})}$$

$$\frac{di_{k3}}{dt} = \frac{2i \cdot \left( \frac{M_{1(2)k3}}{L + M_{12}} \left( R + \frac{dL}{dx} \cdot y + \frac{dM_{12}}{dx} \cdot y \right) - \frac{dM_{1(2)k3}}{dx} \cdot y \right) + i_k \cdot \left( \frac{2M_{1(2)k3}}{L + M_{12}} \cdot \frac{dM_{1(2)k3}}{dx} \cdot y - \left( R_{k3} + \frac{dL_{k3}}{dx} \cdot y \right) \right) - \frac{M_{1(2)k3} \cdot U_m \cdot \sin(\omega t)}{L + M_{12}}}{L_{k3} + M_{1(2)k3} - 2 \cdot \frac{M_{1(2)k3}^2}{L + M_{12}}}$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{F_B(t) - R_{mex} \cdot y - q_l \cdot x}{M}$$

$$\frac{dx}{dt} = y$$

где:  $R_{mex}$  - коэффициент вязких механических потерь

#### 4. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МОДУЛЯ АЦР

Основными задачами анализа режимов работы модуля АЦР являются:

- определение токов в основном контуре модуля АЦР при максимальной производительности активации;
- определение величины и частоты питающего напряжения модуля АЦР при максимальной производительности активации;
- уточнение начального зазора между активатором и стенкой корпуса модуля АЦР, обеспечивающего максимальную производительность активации при ограничениях тока в обмотках электромагнита модуля АЦР.

Анализ режимов работы модуля АЦР при значении коэффициента потерь на вязкое трение  $R_{\text{мех}} = 1500 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$ .

Задачей первого этапа расчётов является определение начального зазора, частоты и величины питающего напряжения, обеспечивающих максимальную производительность, при начальном коэффициенте потерь.

Определение указанных параметров происходит в следующем порядке:

- первоначально определяется резонансная частота колебаний активатора путём подстановкой в листинг расчёта частоты питающего напряжения при неизменных значениях  $R_{\text{мех}}$ ;
- затем при неизменных значениях резонансной частоты колебаний активатора и  $R_{\text{мех}}$  в пределах возможного диапазона выходного напряжения частотного преобразователя определяется начальный зазор между активатором и стенкой корпуса модуля АЦР для обеспечения максимальной производительности активации;
- далее для определённого выше начального зазора производится расчёт производительности активации при изменении частоты питающего напряжения в диапазоне от  $-50\%$  до  $+50\%$  от резонансной частоты. Целью данного расчёта

является определение диапазона частот питающего напряжения, при котором имеет место производительность активации, отличающаяся от максимальной не более чем на 5%.

В ходе расчётов фиксируются значения токов в основной цепи. На всех этапах расчётов ток в основной цепи модуля АЦР должен быть равным или близким к допустимому значению.

Допустимый ток основной цепи модуля АЦР определяется из условия допустимой плотности тока устройств АЦР. Практикой установлено, что допустимую плотность тока в основной цепи модуля АЦР можно принять равной величине не более чем 2,4 А/мм<sup>2</sup>. Тогда действующая величина тока в основной цепи будет ограничиваться величиной не более чем 4,002 А. Результаты расчётов последовательно сводим в таблицы. [7, 11]

Для начального значения  $R_{\text{мех}} = 1500 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}$  определим резонансную частоту и другие основные параметры работы. Начальный зазор принимаем  $\delta_0 = 5,5 \text{ мм}$ , а определение резонансной частоты будем осуществлять путем изменения частоты питающего напряжения в пределах от 30 до 60 Гц. Результаты сводим в таблицу 6.

Таблица 6 – Определение резонансной частоты

| f, Гц                                     | 30   | 35   | 40   | 45    | 50    | 55   | 60    |
|---|------|------|------|-------|-------|------|-------|
| $I_d$ , А                                 | 1,57 | 1,35 | 1,25 | 1,23  | 1,29  | 1,2  | 1,11  |
| x, мм                                     | 2,99 | 3,19 | 3,57 | 3,556 | 1,51  | 1,06 | 0,77  |
| $Q_{\text{акт}}$ ,<br>м <sup>3</sup> /час | 1,74 | 2,47 | 4,06 | 5,22  | 0,273 | 0,1  | 0,039 |
| $U_d$ , В                                 | 220  | 220  | 220  | 220   | 220   | 220  | 220   |

Из полученных данных видно, что действующее значение тока на промышленной частоте 50 Гц имеет заниженное значение, что не позволит

добиться эффекта намагничивания из-за слабой индуктивности, что в свою очередь означает невыполнение требований проекта.

Для решения возникшей проблемы было принято решение изменения обмоточных данных, а именно разделение обмоток на магнитопроводе на 4 шт. (каждая разделяется на две), и параллельное их соединение. После построения соответствующей математической модели были получены повторные результаты по определению резонансной частоты, которые отображены в таблице 7 и на рисунке 15.

Таблица 7 – К определению резонансной частоты при  $R_{\text{мех}} = 1500 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$

| f, Гц                                     | 30    | 35    | 40    | 45    | 50    | 55    | 60    | 65    | 70     |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| $I_d$ , А                                 | 5,76  | 4,93  | 4,39  | 4,09  | 3,976 | 3,906 | 3,756 | 3,522 | 3,26   |
| x, мм                                     | 1,97  | 2,113 | 2,256 | 2,405 | 2,551 | 2,412 | 2,24  | 2,07  | 1,92   |
| $Q_{\text{акт}}$ ,<br>м <sup>3</sup> /час | 3,301 | 5,127 | 7,704 | 11,44 | 16,37 | 19,38 | 20,63 | 20,81 | 20,922 |
| $U_d$ , В                                 | 220   | 220   | 220   | 220   | 220   | 220   | 220   | 220   | 220    |

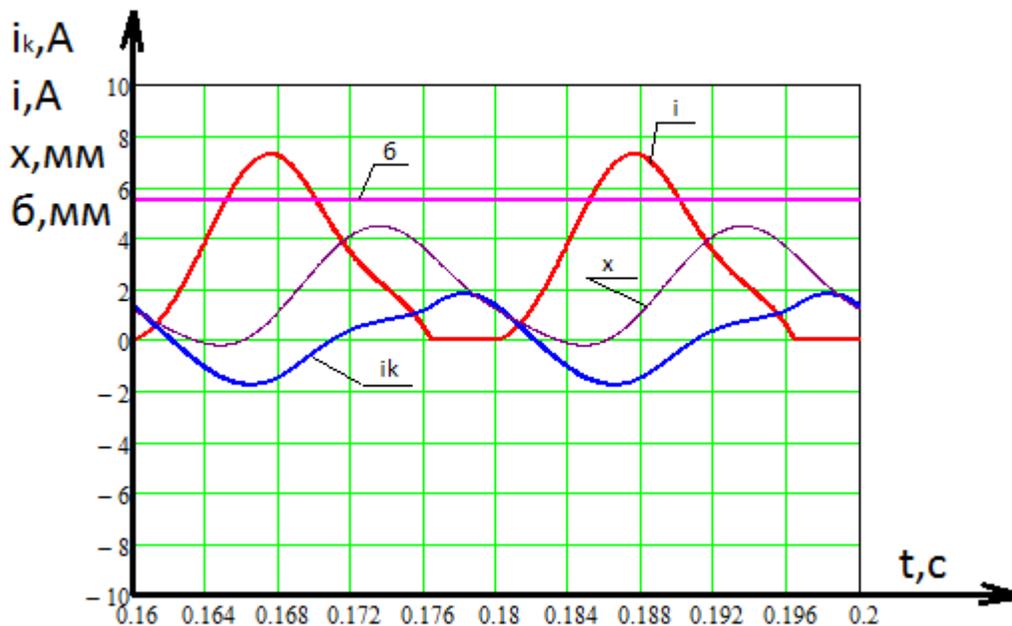


Рисунок 15 – График изменения токов и смещения активатора в установившемся режиме (50 Гц)

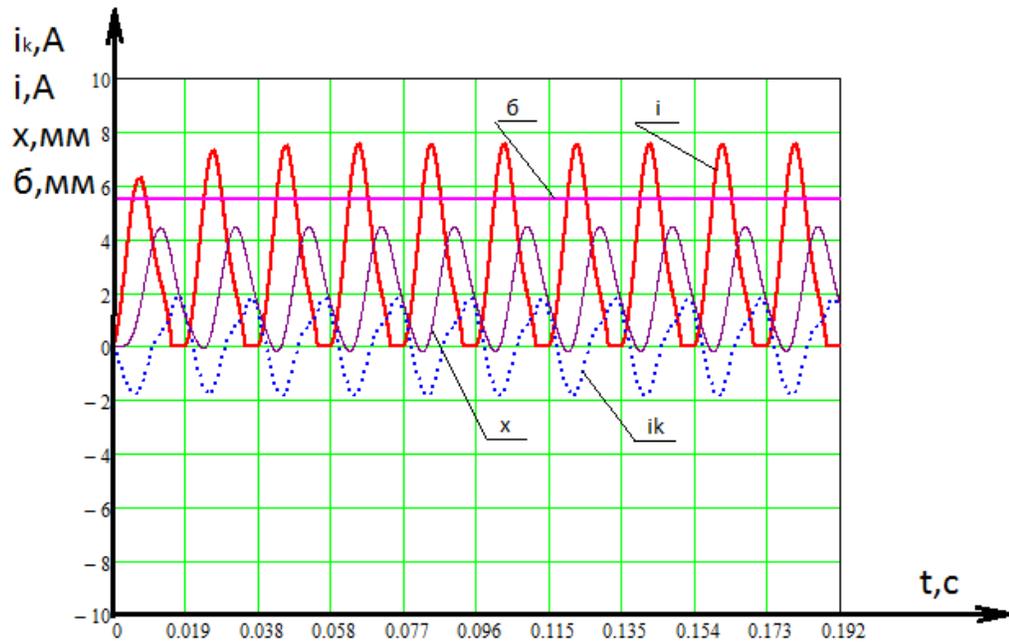


Рисунок 16 – График изменения токов и амплитуды колебаний за время расчета

Из полученных данных видно, что изменение обмоточных параметров привело к получению оптимальных значений напряжения и тока. И резонансная зона находится в пределах от 48 до 52 Гц. С целью более точного определения резонансной частоты проведем уточняющие расчеты, результаты которых приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Определение резонансной частоты при  $R_{\text{мех}} = 1500 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$

| f, Гц                                      | 48     | 49     | 50     | 51     | 52    |
|--|--------|--------|--------|--------|-------|
| $I_d$ , А                                  | 4,012  | 4,001  | 3,976  | 3,97   | 3,965 |
| x, мм                                      | 2,495  | 2,550  | 2,551  | 2,577  | 2,6   |
| $Q_{\text{акт}}$ , $\text{м}^3/\text{час}$ | 14,296 | 15,372 | 16,372 | 17,419 | 18,46 |
| $U_d$ , В                                  | 220    | 220    | 220    | 220    | 220   |

Как видно из таблицы 8 при значении  $R_{\text{мех}} = 1500 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$  резонанс наступает на частоте питающего напряжения 50 Гц. Кроме этого из полученных данных можно заключить, что при выбранном первоначальном зазоре 5,5 мм ток в основной цепи близок к допустимому и корректировка размера не требуется. В итоге получаем:

- начальный зазор  $\delta_0 = 5,5 \text{ мм}$ ;
- действующее значение напряжения питания  $U_d = 220 \text{ В}$ ;
- действующее значение тока в основной цепи  $I_d = 3,92 \text{ А}$ ;
- производительность активации  $Q_{\text{акт}} = 16,372 \text{ м}^3/\text{час}$ .

По данным таблицы 10 строим частотные характеристики работы модуля ВСМА при первоначально выбранных постоянных параметрах:  $m_1$ ,  $m_2$  и  $c_1$

$m_1$  – масса активатора

$m_2$  – присоединённая масса, зависящая от плотности цементного раствора.

$c_1$  – жёсткость пружинного подвеса активатора.

На рисунке 17 приведены зависимости амплитуды колебаний активатора модуля в миллиметрах АЦР от частоты питающего напряжения.

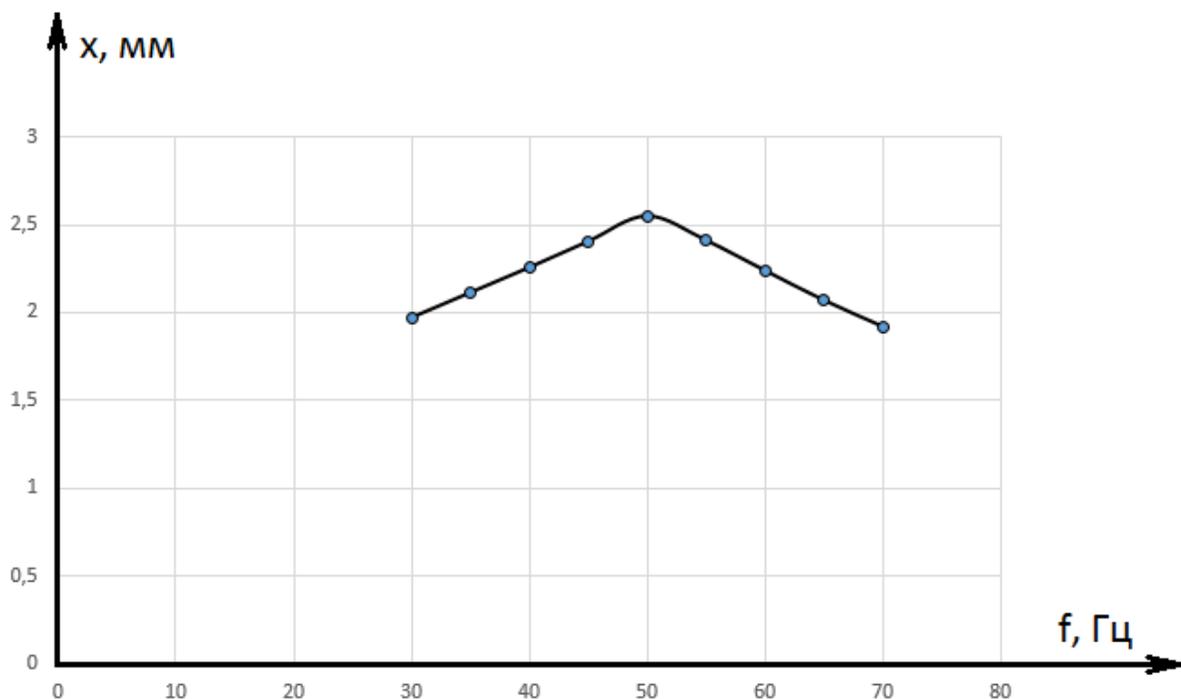


Рисунок 17 - Амплитуда колебаний активатора модуля АЦР от частоты питающего напряжения

Анализируя график следует отметить, что расчет конструкции и электрических параметров позволяет реализовать АЦР, соблюдая требования производительности.

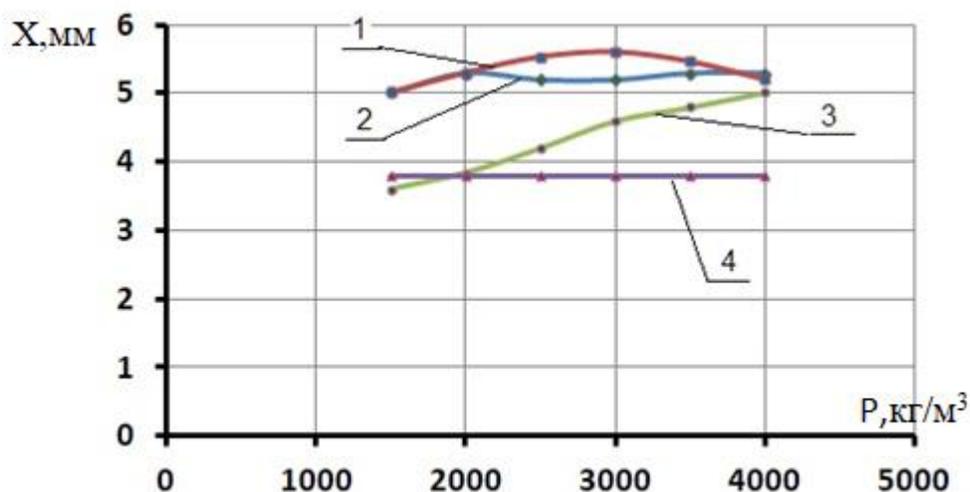
Проведем исследование изменения амплитуды колебаний в при различных значения плотности цементного раствора. Все полученные результаты сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – К определению амплитудной характеристики  $x = f(\rho)$

|   |       |        |        |        |        |        |
|---|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\rho, \text{кг} / \text{м}^3$          | 1500  | 1800   | 2100   | 2400   | 2700   | 3000   |
| $I_d, \text{А}$                         | 3,831 | 3,914  | 4,008  | 4,11   | 4,218  | 4,324  |
| $x, \text{мм}$                          | 2,492 | 2,528  | 2,562  | 2,594  | 2,62   | 2,639  |
| $Q_{\text{акт}}, \text{м}^3/\text{час}$ | 14,81 | 15,744 | 16,678 | 17,563 | 18,318 | 18,866 |

|                 |     |     |     |     |     |     |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $U_d, \text{В}$ | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

Стоит отметить, что при значении плотности цементного раствора более чем  $\rho = 2100 \text{ кг/м}^3$  действующее значение тока имеет величину, превышающую допустимую. На основании полученных результатов построим характеристику  $x = f(\rho)$ , которая изображена на рисунке 18.



1 – максимальная амплитуда колебаний активатора (мм) в диапазоне частот (40-55) Гц; 2 – амплитуда колебаний активатора на частоте резонанса при допустимом токе 3,8 А; 3 – значение тока в обмотке АЦР при изменении плотности; 4 – допустимое значение тока в обмотке

Рисунок 18– амплитудная характеристика  $x = f(\rho)$

Исследуем колебания при изменении величины механического сопротивления, оставляя остальные параметры без изменения. Результаты отображены в таблице 10.

Таблица 10 – к определению амплитудной характеристики  $x = f(R)$

|                                |      |       |       |       |      |       |
|--------------------------------|------|-------|-------|-------|------|-------|
| $R, \text{Н} \cdot \text{с/м}$ | 250  | 500   | 1000  | 1500  | 2000 | 2500  |
| $I_d, \text{А}$                | 4,13 | 3,768 | 3,839 | 3,976 | 4,03 | 4,062 |

|  |       |        |        |        |        |       |
|--|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| $x$ , мм                               | 3,461 | 3,129  | 2,913  | 2,55   | 2,365  | 2,266 |
| $Q_{\text{акт}}$ , м <sup>3</sup> /час | 51,6  | 36,955 | 28,574 | 16,372 | 11,899 | 10,08 |
| $U_d$ , В                              | 220   | 220    | 220    | 220    | 220    | 220   |

По полученным данным построим амплитудную характеристику  $x = f(R)$  которая изображена на рисунке 19.

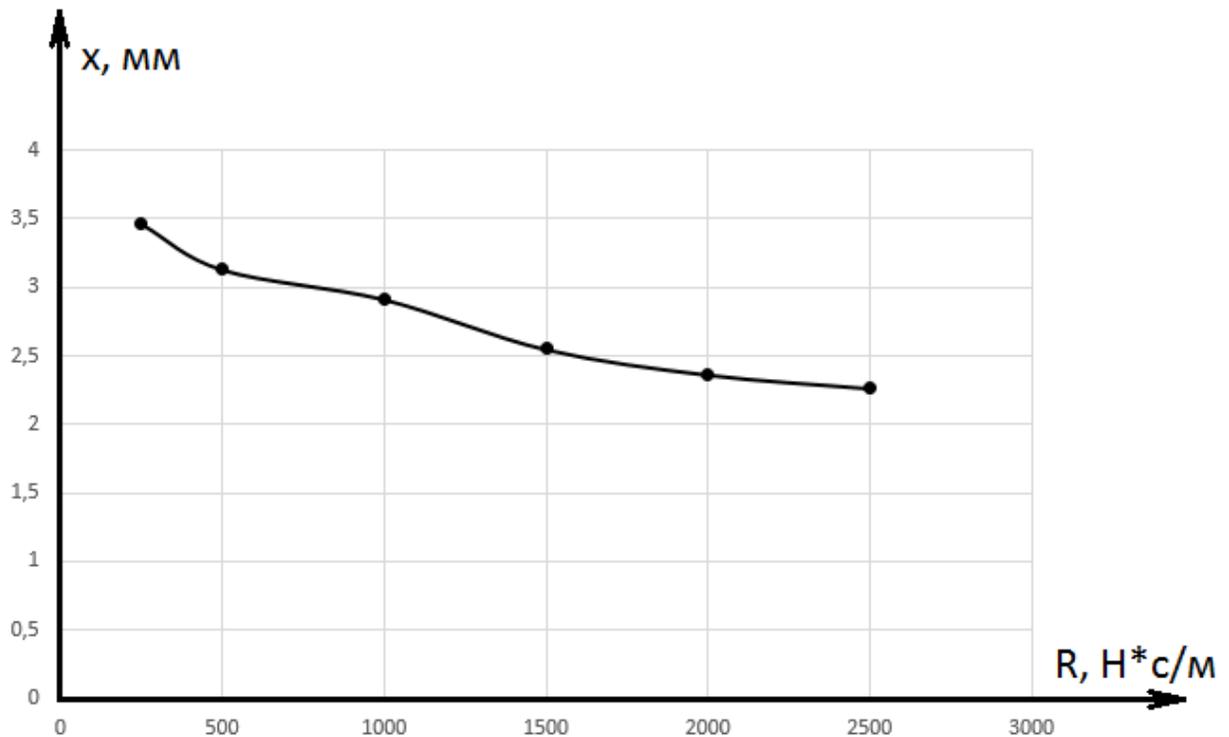


Рисунок 19 - Амплитудная характеристика  $x = f(R)$

Полученные результаты отражают снижение амплитуды колебаний при увеличении механического сопротивления, что отражается, главным образом, на производительности АЦР.

## **ВЫВОДЫ**

1. Анализ режимов работы модуля АЦР показывает, что использование четырёх модулей виброактивации обеспечивает требуемую производительность обработки цементного раствора с высоким качеством.

2. Подбор жёсткости пружинного подвеса позволил создать резонансный режим работы АЦР на частоте 50 Гц, что упрощает электрическую схему подключения.

3. Во всём возможном диапазоне изменения плотности цементного раствора разработанный АЦР обеспечивает работу с требуемыми амплитудами колебаний рабочего органа. При плотности более чем  $2500 \text{ кг/м}^3$  требуется некоторое снижение питающего напряжения для соблюдения теплового режима. (Желательно определить на сколько нужно снизить напряжение питания при плотности раствора  $3000 \text{ кг/м}^3$  и допустимой плотности тока).

4. При увеличении вязкости цементного раствора, а значит и потерь на вязкое трение, амплитуды колебаний рабочего органа АЦР падают примерно на 1 мм, что потребует некоторого увеличения времени приготовления раствора.

## 5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

### 5.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения приведен в таблице 1.

Таблица 1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

| Критерии оценки  | Вес критерия | Баллы          |                 |                 | Конкурентоспособность |                 |                 |
|--|--------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
|  |              | Б <sub>ф</sub> | Б <sub>к1</sub> | Б <sub>к2</sub> | К <sub>ф</sub>        | К <sub>к1</sub> | К <sub>к2</sub> |
| 1  | 2            | 3              | 4               | 5               | 6                     | 7               | 8               |
| <b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>          |              |                |                 |                 |                       |                 |                 |
| Повышение производительности труда пользователя                  | 0.05         | 1              | 1               | 1               | 0.05                  | 0.05            | 0.05            |
| Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0.1          | 4              | 4               | 4               | 0.4                   | 0.4             | 0.4             |
| Уровень шума   | 0.075        | 3              | 3               | 3               | 0.225                 | 0.225           | 0.225           |

|  |          |           |           |           |                  |            |              |
|--|----------|-----------|-----------|-----------|------------------|------------|--------------|
| Надежность   | 0.05     | 4         | 3         | 3         | 0.2              | 0.15       | 0.15         |
| Безопасность                                       | 0.1      | 3         | 3         | 3         | 0.3              | 0.3        | 0.3          |
| Энергоэкономичность                                | 0.125    | 4         | 1         | 1         | 0.5              | 0.125      | 0.125        |
| <b>Экономические критерии оценки эффективности</b> |          |           |           |           |                  |            |              |
| Конкурентоспособность продукта                     | 0.1      | 5         | 2         | 3         | 0.5              | 0.2        | 0.3          |
| Уровень проникновения на рынок                     | 0.05     | 5         | 2         | 2         | 0.25             | 0.1        | 0.1          |
| Цена   | 0.075    | 3         | 3         | 3         | $\frac{0.22}{5}$ | 0.225      | 0.225        |
| Предполагаемый срок эксплуатации                   | 0.1      | 4         | 3         | 3         | 0.4              | 0.3        | 0.3          |
| Послепродажное обслуживание                        | 0.075    | 4         | 3         | 4         | 0.3              | 0.225      | 0.3          |
| Финансирование научной разработки                  | 0.05     | 4         | 1         | 1         | 0.2              | 0.05       | 0.05         |
| Наличие сертификации разработки                    | 0.05     | 2         | 1         | 1         | 0.25             | 0.05       | 0.05         |
| <b>Итого</b>                                       | <b>1</b> | <b>49</b> | <b>30</b> | <b>32</b> | <b>3.8</b>       | <b>2.4</b> | <b>2.575</b> |

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 2, подобраны, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i ,$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

*Итог анализа:*

Данная виброустановка является энергоэффективной, а также, в системе используется частотно регулируемая система, что гарантирует надежную работу и простоту в управлении, а также возможность легкой настройки для автоматических режимов работы.

Данный анализ показывает, что продукт конкурентоспособен, и он может заинтересовать инвесторов, т.к. экономия энергии и ресурсов является одной из главных задач современности

## **5.2 SWOT-анализ проекта**

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента.

Представляет собой комплексное исследование технического проекта.

SWOTанализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Применительно к проектируемой АСР уровня, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Матрица SWOT

|  |  |  |
|--|--|--|
|  | <p><b>Сильные стороны проекта:</b> С1. Высокая энергоэффективность и энергосбережение технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Квалифицированный персонал.</p> <p>С4. Повышение безопасности производства</p> <p>С5. Уменьшение затрат на ремонт оборудования</p> | <p><b>Слабые стороны проекта:</b></p> <p>Сл1. Трудность монтажа оборудования</p> <p>Сл2. Дороговизна оборудования</p> <p>Сл3. Сложность эксплуатации электрооборудования</p> |
| <p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Увеличение производительности электрооборудования</p> <p>В2. Появление дополнительной автоматизированной системы управления насосной станцией</p> <p>В3. Снижение таможенных пошлин на оборудование используемых в лабораторной установке</p> <p>В4. Появление более простых универсальных электрических систем внутризаводской сети</p> | <p>В1С1С2С3С4;</p> <p>В2С1С5;</p> <p>В3С5;</p> <p>В4С1С4С5;</p>  | <p>В2Сл1Сл2;</p> <p>В3Сл2;</p> <p>В4Сл1Сл2Сл3;</p>   |



|             |                         |     |     |     |    |    |
|-------------|-------------------------|-----|-----|-----|----|----|
| Возможности | Сильные стороны проекта |     |     |     |    |    |
|             |                         | C1  | C2  | C3  | C4 | C5 |
|             | B1                      | +   | +   | +   | +  | -  |
|             | B2                      | +   | -   | -   | +  | -  |
|             | B3                      | -   | +   | -   | -  | +  |
|             | B4                      | +   | +   | -   | +  | +  |
|             | Слабые стороны проекта  |     |     |     |    |    |
|             |                         | Сл1 | Сл2 | Сл3 |    |    |
|             | B1                      | -   | -   | -   |    |    |
|             | B2                      | +   | +   | +   |    |    |
|             | B3                      | -   | +   | -   |    |    |
|             | B4                      | -   | -   | -   |    |    |

Таблица 5.3 - Интерактивные матрицы угроз

|        |                         |     |     |     |    |    |
|--------|-------------------------|-----|-----|-----|----|----|
| Угрозы | Сильные стороны проекта |     |     |     |    |    |
|        |                         | C1  | C2  | C3  | C4 | C5 |
|        | У1                      | -   | -   | +   | -  | -  |
|        | У2                      | +   | -   | -   | +  | -  |
|        | У3                      | -   | -   | -   | +  | +  |
|        | У4                      | +   | -   | +   | -  | +  |
|        | Слабые стороны проекта  |     |     |     |    |    |
|        |                         | Сл1 | Сл2 | Сл3 |    |    |
|        | У1                      | +   | +   | -   |    |    |
|        | У2                      | -   | -   | +   |    |    |
|        | У3                      | -   | +   | +   |    |    |
|        | У4                      | -   | -   | +   |    |    |

В результате анализа было установлено, что разрабатываемая установка имеет следующие минусы и угрозы: сложность эксплуатации и отсутствие спроса на данную установку. Данные проблемы решаются путем подбора квалифицированного персонала, который сможет обучить пользователей установки правильно пользоваться ей, и также представить данное изобретение обществу как экономически и энерго-эффективным, полезным и инновационным.

### **5.3 Планирование научно-исследовательских работ**

#### **5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- о  
пределение структуры работ в рамках научного исследования;
- о  
пределение участников каждой работы;
- у  
становление продолжительности работ;
- п

Построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники, преподаватели, инженеры, лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и произведено распределение исполнителей по видам

работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 5.4.

Таблица 5.4 - Распределение исполнителей по данным видам работ

| Основные этапы   | № раб. | Содержание работ   | Должность исполнителя                     |
|--|--------|--|---|
| Разработка технического задания  | 1      | Составление и утверждение технического задания   | Научный руководитель                      |
| Выбор направления технического проектирования завода                     | 2      | Подбор и изучение материалов по теме   | Инженер                                   |
| Расчеты и проектирование системы электроснабжения лабораторной установки | 3      | Проектирование системы внутризаводского электроснабжения   | Инженер, научный руководитель             |
|  | 4      | Проектирование системы внутрицехового электроснабжения   | Инженер, научный руководитель             |
|  | 5      | Проведение графических построений и обоснований (генплан завода и генплан цеха, разработка электрической схемы.) | Инженер, научный руководитель             |
| Обобщение и оценка результатов   | 6      | Оценка эффективности полученных результатов  | Инженер совместно с научным руководителем |
| Оформление отчета по техническому проектированию                         | 7      | Составление пояснительной записки  | Инженер                                   |
|  | 8      | Проверка выпускной квалификационной работы руководителем   | Научный руководитель                      |

### 5.3.2 Определение трудоемкости выполнения технического проекта

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}$$

Где  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы человек-дней;

$t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), человек-дней;

$t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), человек-дней.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{Pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}$$

где  $T_{Pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-

дн.

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 5.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта - горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} ,$$

где  $T_{ki}$  - продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  - продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  - коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$K_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = \frac{365}{299} = 1,22$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 5.5.

Таблица 5.5 – Рассчитанные сведения

| Название Работы                                | Трудоёмкость работ         |         |                            |         |                            |         | Исполнители | Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$ | Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$ |   |              |         |
|--|----------------------------|---------|----------------------------|---------|----------------------------|---------|-------------|--|--|---|--------------|---------|
|  | $t_{\text{min}}$ , чел-дни |         | $t_{\text{max}}$ , чел-дни |         | $t_{\text{ожс}}$ , чел-дни |         |             |  |  |   |              |         |
|  | Науч. рук-ль               | Инженер | Науч. рук-ль               | Инженер | Науч. рук-ль               | Инженер |             |  |  |   | Науч. рук-ль | Инженер |
| Составление и утверждение технического задания | 1                          | -       | 2                          | -       | 1,4                        | -       | 1           | -  | 1,4  | - | 1,7          |         |

|  |   |    |   |    |     |      |   |   |     |      |      |        |
|--|---|----|---|----|-----|------|---|---|-----|------|------|--------|
| Подбор и изучение материалов по теме                     | - | 3  | - | 6  |     | 4,2  | 1 | 1 | -   | 4,2  |      | 5,12   |
| Проектирование системы внутризаводского электроснабжения | 2 | 15 | 4 | 25 | 2,8 | 19   | 1 | 1 | 2,8 | 19   | 3,41 | 23,18  |
| Проектирование системы внутрицехового электроснабжения   | 2 | 20 | 4 | 25 | 2,8 | 19   | 1 | 1 | 2,8 | 19   | 3,41 | 28,18  |
| Проведение графических построений и обоснований          | 1 | 15 | 2 | 14 | 1,4 | 10,8 | 1 | 1 | 1,4 | 10,8 | 1,7  | 18,17  |
| Оценка эффективности полученных результатов              | 2 | 5  | 4 | 7  | 2,8 | 5,8  | 1 | 1 | 2,8 | 5,8  | 3,4  | 7,07   |
| Составление пояснительной записки                        | - | 6  |   | 10 |     | 7,6  |   | 1 |     | 7,6  |      | 9,27   |
| Проверка выпускной квалификационной работы руководителем | 3 |    | 5 |    | 3,8 |      | 1 |   | 3,8 |      | 4,6  |        |
| Итого  |   |    |   |    |     |      |   |   |     |      |      | 107,21 |

Итого длительность работ – 110 календарных дней

На основе таблицы 5 строится календарный план - график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Календарный план-график проведения НИОКР приведен в таблице 5.6.

Таблица 5.6 - Календарный план-график

| № работ | Вид работ                                       | Исполнители           | Тк <sub>ж</sub> , кал.дн | Продолжительность выполнения работ |   |      |   |   |      |   |   |     |   |   |      |   |  |
|---------|---|-----------------------|--------------------------|------------------------------------|---|------|---|---|------|---|---|-----|---|---|------|---|--|
|         |   |                       |                          | Фев.                               |   | Март |   |   | Апр. |   |   | Май |   |   | Июнь |   |  |
|         |   |                       |                          | 2                                  | 3 | 1    | 2 | 3 | 1    | 2 | 3 | 1   | 2 | 3 | 1    | 2 |  |
| 1       | Составление ТЗ                                  | Руководитель          | 2                        | ■                                  |   |      |   |   |      |   |   |     |   |   |      |   |  |
| 2       | Подбор и изучение материалов по теме            | Инженер               | 5                        |                                    | ■ |      |   |   |      |   |   |     |   |   |      |   |  |
| 3       | Проектирование системы внутризаводского ЭС      | Инженер, Руководитель | 23                       |                                    | ■ | ■    | ■ |   |      |   |   |     |   |   |      |   |  |
| 4       | Проектирование системы внутрицехового ЭС        | Инженер, Руководитель | 28                       |                                    |   |      | ■ | ■ | ■    | ■ |   |     |   |   |      |   |  |
| 5       | Проведение графических построений и обоснований | Инженер, Руководитель | 19                       |                                    |   |      |   |   |      |   | ■ | ■   |   |   |      |   |  |
| 6       | Оценка эффективности полученных результатов     | Инженер, Руководитель | 7                        |                                    |   |      |   |   |      |   |   | ■   | ■ | ■ |      |   |  |
| 7       | Составление пояснительной записки               | Инженер               | 9                        |                                    |   |      |   |   |      |   |   |     |   | ■ |      |   |  |
| 8       | Проверка ВКР                                    | Руководитель          | 5                        |                                    |   |      |   |   |      |   |   |     |   |   | ■    | ■ |  |

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 12 декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Учитывая вероятностный характер оценки трудоемкости, реальная продолжительность работ может быть, как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так и несколько

превысить указанную продолжительность (при неблагоприятном стечении обстоятельств).

Далее, по диаграмме Ганта можно предварительно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя.

Занятость исполнителей сводится в таблицу 5.7.

Таблица 5.7 - Занятость исполнителей

| Показатели рабочего времени                            | Руководитель | Инженер   |
|--|--------------|-----------|
| Календарное число дней работы                          | 25           | 85        |
| Количество нерабочих дней за период выполнения проекта | 6            | 24        |
| Продолжительность выполнения проекта, в рабочих днях   | <b>19</b>    | <b>61</b> |

Календарная продолжительность выполнения технического проекта составит 110 дней. Из них:

85 день – рабочая занятость инженера;

25 дней – рабочая занятость руководителя;

Продолжительность выполнения проекта в рабочих днях составит 80 дней. Из них:

61 дней – продолжительность выполнения работ инженером;

19 дней – продолжительность выполнения работ руководителем;

## **5.4 Расчет бюджета для научно-технического исследования**

### **5.4.1 Расчет материальных затрат НТИ**

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;

-покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов; -покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

-сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и

т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi}$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расxi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента ( $k_T$ ), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, приведены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 - материальные затраты

| Наименование | Ед. измерения | Количество   |         | Цена за ед.,руб |         | Затраты на материалы, (Зм),руб. |         |
|--------------|---------------|--------------|---------|-----------------|---------|---------------------------------|---------|
|              |               | Руководитель | Инженер | Руководитель    | Инженер | Руководитель                    | Инженер |
|              |               |              |         |                 |         |                                 |         |

|                             |           |   |   |       |       |       |       |
|-----------------------------|-----------|---|---|-------|-------|-------|-------|
| Компьютер                   | Шт        | 1 | 1 | 31000 | 27000 | 31000 | 27000 |
| Принтер                     | Шт        | 1 | 1 | 5000  | 3000  | 5000  | 3000  |
| Mathcad                     | Шт        | 1 | 1 | 2500  | 2500  | 2500  | 2500  |
| Бумага<br>—SvetoCopy        | Шт        | 1 | 1 | 250   | 250   | 250   | 250   |
| Спец. ПО                    | Шт        | 4 | 3 | 1500  | 700   | 6000  | 2100  |
| Канцелярские принадлежности | -         | - | - | -     | -     | 1000  | 1000  |
| Итого                       | 816<br>00 |   |   |       |       | 45750 | 35850 |

#### 5.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Полная заработная плата сотрудника ТПУ:

$$Z_{полн} = Z_{осн} + Z_{доп} ,$$

где  $Z_{осн}$  - основная заработная плата;

$Z_{доп}$  - дополнительная заработная плата (12-15 % от  $Z_{осн}$ ).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} ,$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Среднедневная заработная плата для сотрудника ТПУ рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{осн} + Z_{допл} + Z_{р.к.}}{F_{д}}$$

где,  $F_{д}$  – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе), раб. дн.

$Z_{тс}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$Z_{допл}$  – доплаты и надбавки, руб. (50%);

$Z_{р.к.}$  – районная доплата, руб. (30%);

Основная заработная плата  $Z_{осн}$  руководителя от предприятия рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p ,$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата работника, руб.;

$Z_{\text{он}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых техническим работником, раб.дн.

Расчет основной заработной платы приведен ниже.

$$Z_{\text{рук}} = 24 \text{ ч} \cdot 300 \text{ руб/ч} = 7200 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{инж.осн}} = 61 \text{ д} \cdot 561,5 \text{ руб/д} = 36497,5 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{общ.осн}} = 7200 + 36497,5 = 43697,5 \text{ руб}$$

Дополнительная заработная плата составляет 12 – 15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 5.9.

Таблица 5.9 - расчет дополнительной и полной заработной платы

| Исполнители                   | $k_{\text{доп}}$ | $Z_{\text{осн}}$ , руб. | $Z_{\text{доп}}$ , руб. | $Z_{\text{полн}}$ , руб. |
|-------------------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Руководитель                  | -                | 7200                    | -                       | 7200                     |
| Инженер                       | 0,12             | 36497,5                 | 4379,7                  | 40877,2                  |
| Итого $Z_{\text{осн}}$ , руб. |                  | 43697,5                 | 4379,7                  | 48077,2                  |

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

### 5.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$З_{внеб} = 0,271 \cdot 48077,2 = 13028,9 \text{ руб.}$$

### 5.4.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{нр},$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

#### 5.4.5 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

К материальным затратам относятся: бумага, спец. ПО, канцелярские принадлежности. Компьютер, принтер и Mathcad после разработки установки можно продать. Срок эксплуатации составляет 7 лет, срок пользования составляет 4 месяца. Амортизация составляет:

$$A = \frac{(31000 + 27000 + 5000 + 3000 + 2500 + 2500) \cdot 4}{12 \cdot 7} = 3380,9 \text{ рублей}$$

Определение бюджета затрат на научно технический проект приведен в таблице 5.10.

Таблица 5.10 Затраты на научно технический проект

| Наименование статьи   | Сумма, тыс. руб. |
|---|------------------|
| 1. Материальные затраты   | 10600            |
| 2. Амортизация  | 3380,9           |
| 3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы       | 43697,5          |
| 4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы | 4379,7           |
| 5. Отчисления во внебюджетные фонды                             | 13028,9          |
| 6. Накладные расходы  | 25455,3          |

|  |          |
|--|----------|
| 7. Бюджет затрат на технический проект | 100542,3 |
|--|----------|

Исходя из представленной выше таблицы, можно сделать вывод, что общие затраты на реализацию технического проекта составят примерно 101 тысячи рублей, из которых большую часть составят затраты по основной з/п. При необходимости снизить общие затраты на реализацию проекта, рекомендуется использовать в качестве выборки оборудования какое-либо другое исполнение.

### 5.5 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

$b_i$  – бальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Расчет показателя конкурентоспособности приведен в таблице 5.11.  
Таблица 5.11 Показатель конкурентоспособности

| Критерии  | Весовой коэффициент параметра | Бальная оценка разработки |
|---|-------------------------------|---------------------------|
| 1. Способствует росту производительности труда пользователя         | 0,15                          | 4                         |
| 2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0,1                           | 4                         |

|                                  |      |    |
|----------------------------------|------|----|
| 3.Надежность                     | 0,15 | 5  |
| 4.Безопасность                   | 0,2  | 5  |
| 5.Простота эксплуатации          | 0,1  | 4  |
| 6.Конкурентоспособность продукта | 0,1  | 4  |
| 7.Уровень проникновения на рынок | 0,2  | 4  |
| ИТОГО                            | 1,0  | 30 |

$$I_{p-уч 1} = 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 = 4,35$$

Также рассмотрим конкурентоспособность уже существующей установки для исследования реологии жидкостей – вискозиметра серии SV-1А. Преимуществом этой установки заключаются в распространенности на рынке, а недостатками являются: в неудобстве и сложности эксплуатации и меньшей надежности. Показатель конкурентоспособности данной установки приведены в таблице 5.12.

Таблица 5.12 Показатель конкурентоспособности вискозиметра серии SV-1А

| Критерии  | Весовой коэффициент параметра | Бальная оценка разработки |
|---|-------------------------------|---------------------------|
| 1. Способствует росту производительности труда пользователя         | 0,15                          | 4                         |
| 2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0,1                           | 3                         |
| 3.Надежность  | 0,15                          | 4                         |
| 4.Безопасность  | 0,2                           | 5                         |
| 5.Простота эксплуатации   | 0,1                           | 3                         |
| 6.Конкурентоспособность продукта                                    | 0,1                           | 4                         |
| 7.Уровень проникновения на рынок                                    | 0,2                           | 5                         |
| ИТОГО   | 1,0                           | 30                        |

$$I_{p-исп 2} = 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 = 4,2$$

Показатель конкурентоспособности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-бальной шкале), больше существующего основного конкурента, что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

## **6 Социальная ответственность**

### **Введение**

Цель квалификационной работы – анализ состояния современных технологий цементирования. Объектами исследования служат новые технологии цементирования, модели цементировочной техники.

Рассматриваемое рабочее место – буровая установка. Рассматриваемый рабочий персонал – буровая бригада. В обязанности бригады входят: подготовка и регулировка приборов и оборудования, обеспечения работоспособности оборудования, приготовление промывочной жидкости, проведение СПО, снятие показаний приборов и обработка полученных данных, уборка рабочего места. Все действия осуществляются в соответствии с утвержденными методиками работы, инструкциями по эксплуатации и ТБ.

Потенциальные пользователи разрабатываемого решения – сервисные компании и службы, оказывающие услуги по цементированию скважины. В данном разделе квалификационной работы производится анализ возможных опасных и вредных факторов при эксплуатации виброструйной магнитной активации жидких систем. Цель данного раздела – обеспечение производственной безопасности работника и охрана окружающей среды.

### **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.**

#### **6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.**

-За вредные условия труда в размере 8 %. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ. Часть третья. Раздел VI. Оплата и нормирование труда. Глава 21. Заработная плата. Статья 147;  
-Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск 4 календ. дней. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 г. № 197-ФЗ. Часть третья. раздел V. Время отдыха. Глава 19. Отпуска. Статья 117;  
-Право на досрочное назначение трудовой пенсии. Федеральный закон от 28.12.2013 N 400-ФЗ. "О страховых пенсиях". Статья 30. Сохранение права на досрочное назначение страховой пенсии. (ред. от 01.10.2019). [14]

Право на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, которое осуществляется в Российской Федерации с января 2000 года в соответствии с Федеральным законом от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ. [16];

Также предоставляются права на проведение в установленном порядке за счет средств организации обязательных предварительных и периодических в данной организации медицинских осмотров (обследований), обязательных психиатрических освидетельствований в случаях, предусмотренных трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права (в ред. Федеральных законов от 30.06.2006 N 90-ФЗ, от 30.11.2011 N 353-ФЗ, от 25.11.2013 N 317-ФЗ). [15]

### **6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Обстановка на буровой установке, а также расположение всех элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. Большое значение имеет также характер работы. В частности, при организации рабочего места должны быть соблюдены следующие основные условия: оптимальное размещение оборудования, входящего в состав рабочего места и достаточное рабочее пространство, позволяющее осуществлять все необходимые движения и перемещения, сюда относятся: спускоподъемные операции (СПО), перемещение цементируемых головок, переводников, установка блоков манифольдов, монтаж нагнетательных линий и т.д.

## **6.2 Производственная безопасность**

В наше время в нефтегазовой отрасли уделяется большое внимание производственной безопасности. Это обусловлено тем, что отрасль является одной из наиболее опасных для человека.

В таблице 1 наглядно продемонстрированы опасные и вредные производственные факторы

Таблица 1 - Возможные опасные и вредные факторы

| Факторы<br>(ГОСТ 12.0.003-2015)                               | Этапы работ    |                  |                  | Нормативные<br>документы  |
|---|----------------|------------------|------------------|---|
|   | Разработ<br>ка | Изготовл<br>ение | Эксплуат<br>ация |   |
| 1. повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны | +              | +                | +                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ГОСТ 12.1.005-88 [1]</li> <li>• СанПиН 2.2.4.548–96 [2]</li> <li>• ГОСТ 12.1.003-2014 [3]</li> <li>• ГН 2.2.5.1313-03 [4]</li> <li>• ГОСТ 12.2.062-81 [5]</li> <li>• ГОСТ Р 12.1.09-2009[6]</li> <li>• ГОСТ 12.1.012–2004 [7]</li> </ul> |
| 2. Превышение уровня шума                                     |                | +                | +                |   |
| 3. Повышенный уровень вибрации                                |                | +                | +                |   |
| 4. Недостаточная освещенность рабочей зоны                    | +              | +                | +                |   |
| 5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи.       | +              | +                | +                |   |

### 6.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

В данном разделе разберем подробно факторы, которые воздействуют на организм человека в процессе эксплуатации виброструйной магнитной активации жидких систем, с помощью ее цементирования. А также нормативные значения этих факторов, которые не вызывают осложнений, и мероприятия, направленные на снижение или ликвидацию этих факторов. Опасными производственными факторами называются факторы, которые способны при определенных условиях вызывать острое нарушение здоровья и гибель организма.

### 6.2.2 Повышенная или пониженная температура воздуха

Работа на буровой сопряжена с работой на открытом воздухе, что приводит к заболеваниям рабочего персонала. Температура воздуха рабочей

зоны оказывает непосредственное влияние на тепловое самочувствие человека и его работоспособность.

В летний период времени при проведении полевых работ существует большая вероятность солнечного удара. Последствиями солнечного удара являются потеря сознания и пребывание в шоковом состоянии. Допустимая интенсивность ультрафиолетового облучения работающих при незащищенных участках поверхности кожи не более  $0,2 \text{ м}^2$  (лицо, шея, кисти рук) общей продолжительностью воздействия излучения 50% рабочей смены не должна превышать  $10 \text{ Вт/м}^2$ .

Время пребывания на открытой территории в нагревающем климате в летнее время года указано в таблице 2.

Таблица 2- Допустимая продолжительность (ч) однократного за рабочую смену пребывания на открытой территории в нагревающем климате в летнее время года. [22]

| Показатель теплового состояния человека                                   | Энерготраты, Вт/м |      |               |      |      |
|---|-------------------|------|---------------|------|------|
|   | 69                | 87   | 113           | 145  | 177  |
| Температура тела ректальная, °С   | 37,3              | 37,4 | 37,5          | 37,6 | 37,7 |
| Средневзвешенная температура кожи, °С                                     | 33,8              | 33,6 | 33,4          | 33,2 | 33,0 |
| Средняя температура тела, °С  | 36,3              | 36,3 | 36,3          | 36,3 | 36,3 |
| Изменение теплосодержания, Дельта, кДж/кг                                 | 2,60              | 2,60 | 2,60          | 2,60 | 2,60 |
| Увеличение частоты сердечных сокращений, Дельта ЧСС, уд./мин              | 8                 | 12   | 20            | 27   | 34   |
| Влагопотери, Дельта, г/ч  | 90                | 120  | 140           | 170  | 210  |
| Теплоощущения, баллы  | 5,0               | 5,0  | 5,0           | 5,0  | 5,0  |
| Разность между температурами кожи груди и стопы ( $t_{кг} - t_{кк}$ ), °С | 1,0               | 1,0  | не характерна |      |      |

В холодное время года работникам, работающим на открытом воздухе или в закрытых необогреваемых помещениях, предоставляются специальные перерывы для обогрева и отдыха, которые включаются в рабочее время.

Работодатель обязан обеспечить оборудование помещений для обогрева и отдыха работников.

Время пребывания на открытой территории в холодное время года указано в таблице 3.

Таблица 3 - Допустимая продолжительность (ч) однократного за рабочую смену пребывания на открытой территории в холодное время года. [21]

| Температура воздуха, °С | Энерготраты, Вт/м (категория работ) |                      |   |
|-------------------------|-------------------------------------|----------------------|---|
|                         | 88 (Iб)                             | 113 (IIa)            | 145 (IIб)                               |
| -5                      | охлаждение через 1,4                | охлаждение через 3,0 | охлаждение поверхности тела отсутствует |
| -10                     | 1,0                                 | 1,7                  | "                                       |
| -15                     | 0,8                                 | 1,1                  | охлаждение через 2,7                    |
| -20                     | 0,7                                 | 0,9                  | 1,5                                     |
| -25                     | 0,6                                 | 0,7                  | 1,1                                     |
| -30                     | 0,5                                 | 0,6                  | 0,8                                     |
| -35                     | 0,4                                 | 0,5                  | 0,7                                     |
| -40                     | 0,3                                 | 0,4                  | 0,6                                     |

Комплект СИЗ: Комплект, включающий спецодежду, средства защиты головы, рук, специальную обувь, предназначенные для защиты работающего. [17]

### 6.2.3 Повышение уровня шума

Производственный шум- это совокупность различных шумов, возникающих в процессе производства и неблагоприятно воздействующих на организм. При повышенном уровне шума у работающих снижается внимание, увеличивается расход энергии при одинаковой физической нагрузке, замедляется скорость психических реакций, снижается производительность труда и качество выполняемых работ. Длительное воздействие шума может привести к ухудшению слуха, а в отдельных случаях и к глухоте.

Шум на рабочем месте не должен превышать 85 дБА [18]. И соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.003-2014 "Шум. Общие требования безопасности".

Для защиты работников от воздействия шума используют индивидуальные и коллективные средства защиты. К СИЗ относят наушники, вкладыши, шлемы, а к коллективным - звукоизоляцию и звукопоглощение, а также предусматривается установка кожухов и глушителей.

#### **6.2.4 Повышенный уровень вибрации**

По способу передачи вибрации на тело человека выделяют локальную и на общую. Общая вибрация передается через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека. Локальная вибрация, возникает при работе с ручным механизированным инструментом. Постоянное воздействие вибрации на организм человека может привести к профессиональному заболеванию – вибрационной болезни. При работе с установкой цементного раствора могут возникнуть

- общая вибрация 2 категории — транспортно-технологическая вибрация, воздействующая на человека на рабочих местах машин, перемещающихся по специально подготовленным поверхностям производственных помещений и т. п.;
- общая вибрация 3 категории — технологическая вибрация, воздействующая на человека на рабочих местах стационарных машин или передающаяся на рабочие места, не имеющих источников вибрации.

СИЗ от вибраций являются: рукавицы, перчатки, виброзащитная обувь и прокладки из пластмасс, резины. Крайне необходимой мерой для уменьшения опасного действия вибрации на организм является медицинское наблюдение,

лечебно-профилактические мероприятия, и конечно, правильная организация труда и отдыха.

Технические нормы ограничивающие нормы вибрации представлены в таблице 4 [19].

Таблица 4 – Ограничивающие нормы вибрации [19]

| Частота, Гц | Виброинструмент             |                       | Рабочее место               |                       |
|-------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|
|             | уровень колеб. скорости, дБ | колеб. скорость, см/с | уровень колеб. скорости, дБ | колеб. скорость, см/с |
| 16          | 120                         | 5,0                   | 97                          | 0,35                  |
| 32          | 117                         | 3,5                   | 93                          | 0,22                  |
| 63          | 114                         | 2,5                   | 95                          | 0,27                  |
| 125         | 111                         | 1,8                   | 97                          | 0,35                  |
| 250         | 108                         | 1,2                   | 97                          | 0,35                  |
| 500         | 105                         | 0,9                   | -                           | -                     |
| 1000        | 102                         | 0,63                  | -                           | -                     |
| 2000        | 99                          | 0,45                  | -                           | -                     |

### 6.2.5 Недостаточное освещение рабочей зоны

Освещение оказывает влияние на настроение и самочувствие, что в свою очередь определяет эффективность труда. Освещение рабочих мест должно отвечать требованиям, изложенным в ГОСТ Р 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений». Оно должно равномерно распределять яркость, быть постоянным во времени, без пульсации, иметь спектр близкий к естественному. На буровой используется естественное, искусственное и аварийное освещение.

В соответствии с СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. светильники буровых установок должны обеспечивать освещенность:

- роторного стола – 100 лк [20];
- превенторной установки – 75 лк [20];
- помещения вышечного и насосного блоков – 75 лк [20];
- пути движения талевого блока – 30 лк [20] ;
- лестниц, маршей, сходов, приемного моста – 10 лк [20].

### **6.2.6 Повышенное значение напряжения в электрической цепи**

Поражение электрическим током возможно из-за доступности прикосновения к токоведущим частям, отсутствия защитного заземления, не применения защитных средств, при обслуживании электроустановок.

С целью снижения вероятности поражения рабочих электрическим током необходимо проводить следующие мероприятия:

- проектирование, монтаж, наладка, испытание и эксплуатация электрооборудования буровых установок должны проводиться в соответствии с требованиями «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ), «Межотраслевые правила по ОТ при эксплуатации электроустановок» [12].
- применения защитного заземления буровой установки;
- применение блокировочных устройств;
- применение СИЗ при обслуживании электроустановок;
- применение средств коллективной защиты: оградительные, автоматического контроля и сигнализации, изолирующие устройства и

покрытия, устройства защитного заземления и зануления, устройства автоматического отключения, плакаты по охране труда.

### **6.3 Экологическая безопасность**

Эксплуатации установки приготовления раствора нефтяной скважины не несет серьезных последствий для окружающей среды. Наиболее значительный вред наносится атмосфере.

#### **6.3.1 Загрязнение атмосферы**

При эксплуатации цементные установки наносят определенный вред состоянию окружающей среды, в частности атмосфере. Производство цементного раствора отнесено к объектам первой категории, т.е. оказывающим значительное негативное воздействие на окружающую среду и относящимся к областям применения наилучших доступных технологий. Основными выбросами в атмосферный воздух на цементных заводах являются пыль, оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ) и диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ). Также к таким выбросам можно отнести летучие органические соединения, полихлорированные дифенилдиоксины и дифенилфураны и хлористый водород ( $\text{HCl}$ ). В данный список не включен диоксид углерода  $\text{CO}_2$ , хотя он образуется в значительных количествах при производстве цемента. Выбросы пыли происходят при транспортировке и помолу сырьевых материалов, при процессах приготовления сырья и обжига клинкера, при дроблении сырья и складировании топлива, при отгрузке цемента. Неорганизованные выбросы пыли появляются в результате складирования материалов и твердого топлива на открытых площадках, транспортеров сырья, а также из дорожных покрытий, вызываемых движением транспорта. В пыли от производства цемента обычно содержится небольшое количество металлов и их соединений, например, таких как As, Cd, Hg и другие. Например, ртуть – это токсичный элемент, ее соединения очень легко переходят в газообразное состояние из-за высокой летучести металла. Для

предотвращения выбросов цементная установка оборудуется противовыбросовым оборудованием согласно ГОСТ 13862-90 «Оборудование противовыбросовое» [13].

### **6.3.2 Загрязнение литосферы и гидросферы**

Загрязнение почвы и воды цементная установка не несет, так как в процессе эксплуатации никак не контактирует с гидросферой и не загрязняет почву, не разрушает горные породы и не препятствует росту растений.

### **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайная ситуация — это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие смерти, а также ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Самым опасным и типичным видом чрезвычайных ситуаций при бурении скважин, является газонефтеводопроявления (ГНВП).

Основными причинами возникновения ГНВП являются:

- недостаточная плотность бурового раствора;
- недолив скважины при СПО;
- поглощение жидкости, находящейся в скважине;
- уменьшение плотности жидкости при длительных остановках за счет поступления газа из пласта;
- длительные остановки скважины без промывки.

С целью предупреждения ГНВП перед вскрытием пласта с возможным проявлением необходимо:

- провести инструктаж членов буровой бригады;
- проверить состояние буровой установки, ПВО и инструментов;
- провести учебную тревогу;
- оценить готовность к утяжелению бурового раствора.

Перед вскрытием продуктивного горизонта и при наличии во вскрытом разрезе нефтегазосодержащих отложений, а также других высоконапорных горизонтов, на объекте должны быть вывешены предупредительные надписи:

«Внимание! Вскрыт продуктивный пласт!», «Недолив скважин – путь к фонтану!».

Действия буровой бригады при сигнале «Выброс»:

- Зафиксировать показания давления в трубном и затрубном пространствах, плотность бурового раствора, объем поступившего флюида;
- Загерметезировать канал бурильных труб и устье скважины;
- Оповестить руководство предприятия о ГНВП;
- Далее действовать в соответствии с планом ликвидации аварии.

Ликвидация ГНВП Проходит в два этапа:

- вымыв флюида – комплекс технологических операций, при которых производится удаление из скважины поступивших пластовых флюидов на дневную поверхность;
- глушение скважины – комплекс технологических операций, при которых скважина заполняется утяжеленным буровым раствором, обеспечивающим условия безопасного ведения работ по строительству и ремонту скважины.

### **Выводы по разделу**

В ходе выполнения раздела «Социальная ответственность» была проведена всесторонняя оценка вредных и опасных факторов, возникающих при строительстве скважины, а также рассмотрены / разработаны мероприятия по минимизации их воздействия на организм человека и окружающую среду. Помимо этого, были рассмотрены вероятные ЧС и мероприятия по их предупреждению и ликвидации. Практическую значимость трудно переоценить, т.к. дополнительно уделенное безопасности выполнения работ внимание всегда окупается в виде сохраненных материальных ценностей, здоровья и жизни сотрудников.

## Список используемой литературы

1. Гулов А.Р. Новейшие технические решения для цементирования скважин / А.Р. Гулов, С.А. Новиков, В.Г. Журавчак, М.А. Ахметов // Бурение и нефть – 2018. – №1. – С. 55–57
2. Гасимова Т.А. Аварии на этапе цементирования скважин. Пособие для студ. учреждений высш. проф. образования 2-е изд., стер. //Прогнозирование последствий-М.: Изд. центр «Академия. – 2012.
3. М. И. Прудников. Облегченный тампонажный раствор с использованием пеностекла // Инструмент и оборудование. – 2010.
4. Пятибратов А.Ю. Облегченная тампонажная смесь с применением гранул «Super-K»// Инструмент и оборудование. – 2018. № 3.
5. Постановление правительства Российской Федерации №640 от 07 июля 2016 года “О внесении изменений в постановление правительства Российской Федерации от 01 января 2002 г. №1” [Электронный ресурс] Режим доступа: свободный <https://rulaws.ru/goverment/Postanovlenie-Pravitelstva-RF-ot-07.07.2016-N-640/> (дата обращения 16.05.2020).
6. Единые нормы времени на монтаж и демонтаж вышек и оборудования для бурения – М.: ОАО "ВНИИОЭНГ", 2001. - 183 с.
7. «Ведомственные строительные нормы инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство скважин на нефть и газ» ВСН 39-86. [Электронный ресурс] Режим доступа: свободный <http://www.omegametall.ru/Data1/55/55328/index.htm> (дата обращения: 16.05.2020).

8. «Строительство эксплуатационных скважин на КП №№16, 33, 36, 39, 41 Ярактинского нефтяного месторождения» Проектная документация. 2016 г.

9. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения 18.05.2020 г.).

10. ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://docs.cntd.ru/document/557235236> (дата обращения 18.05.2020 г.).

11. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://docs.cntd.ru/document/499011004> (дата обращения 17.05.2020 г.).

12. Инструкция по охране труда рабочих при бурении скважин. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный [businessforecast.by](http://businessforecast.by) (дата обращения 18.05.2020 г.).

13. ГОСТ 17.0.0.01-76 Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://docs.cntd.ru/document/1200003894> (дата обращения 15.05.2020 г.).

14. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ.

15. ТК РФ, Статья 212. Обязанности работодателя по обеспечению безопасных условий и охраны труда.

16. Федеральный закон от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний».
17. ГОСТ 12.4.303-2016 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Одежда специальная для защиты от пониженных температур. Технические требования (Переиздание). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://docs.cntd.ru/document/1200136075> (дата обращения 17.05.2020 г.).
18. СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»
19. СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»
20. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*.
21. МР 2.2.7.2129-06 Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях.
22. МР 2.2.8.0017-10 Режимы труда и отдыха работающих в нагревающем микроклимате в производственном помещении и на открытой местности в теплый период года.