

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

---

Институт ЭНИН

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра ЭПЭО

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

|   |
|---|
| Тема работы                             |
| <b>ЭЛЕКТРОПРИВОД СКВАЖИННОГО НАСОСА</b> |

УДК 622.276.53

Студент

| Группа | ФИО                    | Подпись | Дата |
|--------|------------------------|---------|------|
| 5ГМ5А  | Ломаев Артём Сергеевич |         |      |

Руководитель

| Должность | ФИО         | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|-------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор | Качин С. И. | д.т.н.                    |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность         | ФИО            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-------------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Ст. преподаватель | Кузьмина Н. Г. |                           |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО              | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Дашковский А. Г. | к.т.н.                    |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой | ФИО             | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|---------------|-----------------|---------------------------|---------|------|
| ЭПЭО          | Ю. Н. Дементьев | к.т.н.                    |         |      |

Томск – 2017 г.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП  
13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»**

| Код ре-<br>зультата                 | Результат обучения<br>(выпускник должен быть готов)   |
|-------------------------------------|---|
| <b>Универсальные компетенции</b>    |   |
| P1                                  | <i>Совершенствовать</i> и развивать свой <i>интеллектуальный и общекультурный уровень</i> , добиваться <i>нравственного и физического совершенствования</i> своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.   |
| P2                                  | <i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками</i> как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.  |
| P3                                  | <i>Использовать</i> на практике <i>навыки и умения в организации</i> научно-исследовательских и производственных работ, в <i>управлении</i> коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.  |
| P4                                  | <i>Использовать</i> представление о методологических основах <i>научного познания и творчества</i> , роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением <i>современных информационных технологий</i> , синтезировать и критически резюмировать информацию.   |
| <b>Профессиональные компетенции</b> |   |
| P5                                  | <i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.  |
| P6                                  | Ставить и <i>решать инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.  |
| P7                                  | Выполнять <i>инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.  |
| P8                                  | Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.  |
| P9                                  | Проводить <i>технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.  |
| P10                                 | Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы</i> электроэнергетического и электротехнического оборудования.   |
| P11                                 | <i>Осваивать новое</i> электроэнергетическое и электротехническое <i>оборудование</i> ; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.   |
| P12                                 | Разрабатывать рабочую <i>проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять <i>оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы. |

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

Институт ЭНИН

Направление подготовки (специальность) 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра ЭПЭО

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
 (Подпись) (Дата) Дементьев Ю.Н.  
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

|                          |
|--------------------------|
| Магистерской диссертации |
|--------------------------|

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

Студенту:

| Группа | ФИО                       |
|--------|---------------------------|
| 5ГМ5А  | Ломаеву Артёму Сергеевичу |

Тема работы:

|   |  |
|---|--|
| Электропривод скважинного насоса            |  |
| Утверждена приказом директора (дата, номер) |  |

|  |  |
|--|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: |  |
|--|--|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Исходные данные к работе</b><br/> <i>(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.).</i></p> | <p>Асинхронный электропривод погружного скважинного насоса центробежного типа</p> <p>Питающая сеть – трёхфазная <math>U=380V</math> <math>f= 50Гц</math></p> <p>Номинальный напор насоса <math>H = 100m</math></p> <p>Максимальный дебит скважины <math>D = 180 м^3/ч</math></p> <p>Максимальный потребляемый ток фазы по условиям допустимого падения напряжения сети ограниченной мощности- <math>300 A</math></p> |
|---|--|

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b><br/> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Изучение литературы соответствующей тематики;</li> <li>- Выбор АД и ПЧ</li> <li>- Сбор практических данных;</li> <li>- Проведение необходимых расчетов;</li> <li>- Построение модели насосного электропривода с системой ПЧ-АД и ПЧ-АД с задатчиком интенсивности с помощью MatLab Simulink.</li> </ul> |
| <p><b>Перечень графического материала</b><br/> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Механические и электромеханические характеристики электродвигателя</li> <li>- Имитационные модели АД, системы ПЧ-АД и ПЧ-АД с задатчиком интенсивности в среде MatLab Simulink;</li> </ul>  |

|   |   |
|---|---|
| <p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b><br/> <i>(с указанием разделов)</i></p> |   |
| <p style="text-align: center;"><b>Раздел</b></p>  | <p style="text-align: center;"><b>Консультант</b></p>               |
| <p style="text-align: center;">Финансовый менеджмент</p>  | <p style="text-align: center;">Ст. преподаватель, Кузьмина Н.Г.</p> |
| <p style="text-align: center;">Социальная ответственность</p>   | <p style="text-align: center;">Доцент, Дашковский А.Г.</p>          |
| <p style="text-align: center;">Иностранный язык</p>   | <p style="text-align: center;">Доцент, Пташкин А.С.</p>             |

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

**Задание выдал руководитель:**

|  |  |   |  |   |
|--|--|---|--|---|
| <p style="text-align: center;">Должность</p> | <p style="text-align: center;">ФИО</p>         | <p style="text-align: center;">Ученая степень,<br/>звание</p> | <p style="text-align: center;">Подпись</p> | <p style="text-align: center;">Дата</p> |
| <p style="text-align: center;">Профессор</p> | <p style="text-align: center;">Качин С. И.</p> | <p style="text-align: center;">д.т.н.</p>                     |  |   |

**Задание принял к исполнению студент:**

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| <p style="text-align: center;">Группа</p> | <p style="text-align: center;">ФИО</p>                    | <p style="text-align: center;">Подпись</p> | <p style="text-align: center;">Дата</p> |
| <p style="text-align: center;">5ГМ5А</p>  | <p style="text-align: center;">Ломаев Артём Сергеевич</p> |  |   |

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

|               |                           |
|---------------|---------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                |
| 5ГМ5А         | Ломаеву Артёму Сергеевичу |

|                            |                       |                                  |                                    |
|----------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| <b>Институт</b>            | <b>Энергетический</b> | <b>Кафедра</b>                   | <b>ЭПЭО</b>                        |
| <b>Уровень образования</b> | Магистрант            | <b>Направление/специальность</b> | Электроэнергетика и электротехника |

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

|   |  |
|---|--|
| <i>1. Стоимость затрат технического проекта (ТП): на зарплату, страховые отчисления, прочие и накладные расходы</i> | <i>Затраты на технический проект составили 357245 рублей</i>             |
| <i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>   | <i>В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»</i> |
| <i>3. Используемая система налогообложения ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>           | <i>Отчисления во внебюджетные страховые фонды 30%</i>                    |

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

|  |   |
|--|---|
| <i>1. Планирование и формирование графика работ по реализации ТП</i>   | <i>Планирование работ и их временных оценок</i> |
| <i>2. Формирование сметы</i>   | <i>Смета затрат на проектирование</i>           |
| <i>3. Оценка потенциала и перспективности реализации ТП с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> | <i>Анализ полученных результатов</i>            |

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

**Задание выдал консультант:**

|                       |                |                               |                |             |
|-----------------------|----------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b>      | <b>ФИО</b>     | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Старший преподаватель | Кузьмина Н. Г. |                               |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

|               |             |                |             |
|---------------|-------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>  | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 5ГМ5А         | Ломаев А.С. |                |             |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ РАБОТЕ НА  
УЧАСТКЕ ПРОЕКТИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОГРУЖНОГО НАСОСА»**

Студенту:

|               |                        |
|---------------|------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>             |
| 5ГМ5А         | Ломаев Артём Сергеевич |

|                     |             |                           |   |
|---------------------|-------------|---------------------------|---|
| <b>Институт</b>     | <b>ЭНИН</b> | <b>Кафедра</b>            | <b>ЭПЭО</b>   |
| Уровень образования | Магистрант  | Направление/специальность | Электроприводы и системы управления электроприводов |

|   |  |
|---|--|
| <b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>  |  |
| <i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i> | <i>Территория насосной станции с главным объектом рассмотрения исследования – регулируемый электропривод погружного насоса.</i>                                      |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>   |  |
| <i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>                 | <i>Вредные факторы:<br/>1. Шум от работы;<br/>2. Вибрации на рабочем месте;<br/>3. микроклимат помещения;</i>  |
| <i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</i>                  | <i>2.1. Опасность электропоражения;</i>  |
| <i>3. Экологическая безопасность:</i>   | <i>Основным воздействием на окружающую среду являются бытовые отходы и отходы возникающие при обслуживании оборудования, которые должны подвергаться утилизации.</i> |
| <i>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</i>  | <i>Разработать мероприятия по предупреждению загораний и электропоражений и мер по ликвидации их последствий.</i>  |
| <i>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</i>   | <i>Социальные гарантии по компенсации для работника.</i>   |
| <b>Перечень графического и инструктивного материалов:</b>   |  |
| <i>Обязательные графические материалы к расчётам по заданию (обязательно для специалистов и магистров).</i>                       |  |

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

**Задание выдал консультант:**

| Должность          | ФИО             | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|--------------------|-----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент кафедры ЭБЖ | Дашковский А.Г. | к.т.н.,<br>доцент         |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                    | Подпись | Дата |
|--------|------------------------|---------|------|
| 5ГМ5А  | Ломаев Артём Сергеевич |         |      |

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 90 страниц, 32 рисунка, 10 таблиц, 33 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, ПОГРУЖНОЙ НАСОС, ЗАДАТЧИК ИНТЕНСИВНОСТИ.

Цель работы – провести расчет и исследование электропривода погружного насоса по системе ПЧ-АД, выбрать необходимое оборудование, организовать плавный пуск электродвигателя с ограничением величины тока и момента.

В работе произведен выбор асинхронного двигателя (АД) и преобразователя частоты.

Сделан расчет параметров двигателя, преобразователя,.

С помощью имитационной модели в MATLAB R2013a проведено исследование АД, получены переходные характеристики, создана модель асинхронного частотно-регулируемого электропривода со скалярным управлением.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2013.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |    |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....  | 11 |
| 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....  | 19 |
| 1.1. Анализ технологического процесса.....   | 19 |
| 2. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ.....   | 20 |
| 2.1 выбор насоса и двигателя.....  | 20 |
| 3. Расчет дополнительных параметров двигателя и схемы замещения в<br>программе MathCAD.....                            | 23 |
| 4. Расчет естественных механической и электромеханической характеристик в<br>программе MathCAD.....                    | 27 |
| 5. Выбор преобразователя частоты.....  | 28 |
| 6. Расчет семейства механических и электромеханических характеристик при<br>изменении частоты в программе MathCAD..... | 32 |
| 7. Математическое моделирование.....   | 34 |
| 8. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И<br>РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....   | 46 |
| 8.1 Планирование научно-исследовательской работы.....  | 46 |
| 8.2 Смета затрат на проектирование.....  | 49 |
| 8.2.1 Материальные затраты.....  | 49 |
| 8.2.2 Затраты на амортизацию.....  | 49 |
| 8.2.3 Затраты на заработную плату.....   | 50 |
| 8.2.4 Затраты на социальные нужды.....   | 51 |
| 8.2.5 Прочие затраты.....  | 51 |
| 8.2.6 Накладные затраты.....   | 51 |
| 9. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....   | 54 |
| Введение.....  | 54 |
| 9.1 Описание и анализ опасных и вредных факторов.....  | 54 |
| 9.2 Производственная санитария.....  | 56 |
| 9.2.1 Микроклимат.....   | 56 |
| 9.2.2 Шум и вибрация.....  | 58 |

|   |    |
|---|----|
| 9.4 Предотвращение чрезвычайных ситуаций и устранение их последствий..... | 61 |
| 9.4.1 Пожар (загорание).....  | 61 |
| 9.4.2 Электропоражение.....   | 62 |
| 9.5 Социальные гарантии для работника.....                                | 65 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....                                     | 69 |
| Приложение А.....   | 72 |

## ВВЕДЕНИЕ

Скважины – это один из самых универсальных и удобных источников для добычи воды на участке. Большинство загородных домов оборудуются именно скважинами, так как с их помощью можно довольно легко и быстро получить воду или организовать систему водоснабжения в любом доме[1].

Существуют поверхностные и погружные насосы. Поверхностные устанавливаются на поверхности земли, а погружные работают при заглублении под воду. Выбор того или иного вида зависит не только от ваших личных предпочтений, а и от внешних факторов. К примеру, у поверхностного насоса не хватит силы, чтобы поднять воду из глубокого колодца или скважины, у погружных моделей с этим проблем нет и ограничение по высоте подъема для них практически не существует.

Погружной насос для скважины – это оборудование, что используется для добычи жидкости с ее дна. Погружные насосы отличаются от поверхностных своей конструкцией. Выглядят они, как продолговатые капсулы из металла. Дело в том, что погружные насосы для скважин необходимо монтировать непосредственно под воду. Под водой они находятся все время, пока их надо эксплуатировать. Это доставляет небольшие трудности, так как для обслуживания необходимо доставать насос из скважины, что занимает определенное время. Однако есть здесь и свои плюсы. Технические характеристики погружных насосов намного выше, чем у поверхностных или полупогружных моделей.

Существует 2 типа погружных насосов: штанговые погружные насосы и бесштанговые погружные насосы. Штанговые - погружные насосы, в которых привод исполняется от независимого двигателя, который находится на поверхности воды, через механическую связь(штангу). Бесштанговые - погружные насосы выполняются в одном агрегате с электрическим (либо гидравлическим) двигателем. Питание электродвигателя исполняется через погружаемый силовой кабель. Данные насосы являются более

распространёнными. К ним относятся скважинный насос, колодезный насос и дренажный насос.

Особенная продолговатая форма погружного насоса необходима для того, чтобы иметь возможность установить его внутри обсадной трубы скважины. А габариты обсадных труб в большинстве случаев равняются 150-200 мм. Причем верхняя граница встречается далеко не всегда.

Погружные насосы опускаются в колодец, скважину или водоем ниже уровня воды, качая жидкость посредством выталкивания ее наверх. Для подъема воды применяется обычный резиновый шланг или труба. Самые простые насосы погружные для дачи могут подавать воду вверх на высоту до 40 м, ну а более мощные – даже до 80 м.

Все погружные насосы по своей конструкции и функциональным особенностям делятся на две группы. Первые способны перекачивать только чистую воду без примесей, вторые – дренажные – рассчитаны на работу с загрязненной жидкостью.



Рисунок 1 – погружные скважинные насосы.

Погружные насосы для чистой воды используются для водоснабжения дома, также для полива, если вода берется из скважин, колодцев или чистых водоемов. Большинство таких приборов – многоступенчатые. Для обеспечения эффективного водоснабжения очень важна такая характеристика насосов, как напор. Учитывая то, что погружные насосы опускаются в колодец или скважину на глубину несколько десятков метров, причем на поверхности тоже нужно создать сетевое давление, то реализовать столь сильный напор одним рабочим колесом практически невозможно. Поэтому в конструкции погружных насосов чаще всего находятся несколько ступеней, каждая из которых состоит из рабочего колеса и диффузора.

Многоступенчатые насосы не желательно использовать для подъема грязной воды, в которой присутствуют механические включения. В их

конструкции от ступени к ступени растет внутреннее давление и твердые частицы, попав в этот водоворот, начинают царапать поверхность рабочих колес и выводят их из строя.

Погружные насосы, в зависимости от места своей эксплуатации, делятся на колодезные и скважинные.

Колодезные насосы- это сравнительно недорогие приборы, которые устанавливаются в песчаных колодцах или скважинах (глубиной до 50 м). По принципу действия они чаще всего бывают вибрационными. Устройство погружного насоса вибрационного типа не сложно – внутри широкого цилиндра находится резиновая мембрана, с одной стороны которой располагается камера для откачиваемой воды, а с другой – вибрирующий элемент, заставляющий мембрану изгибаться. Деформация мембраны приводит к изменению рабочего объема водяной камеры, а это, в свою очередь, сказывается на уменьшении или увеличении давления в корпусе. Когда давление снижается, впускной клапан открывается и впускает в камеру воду, а когда увеличивается – жидкость через выпускной клапан под напором выталкивается наружу.



Рисунок 2- колодезный насос.

Насос погружной вибрационный имеет достаточно широкий диаметр, поэтому не применяется в узких скважинах.

Глубинные погружные насосы для воды могут справиться с подъемом воды из самых глубоких и узких артезианских скважин, поэтому он и более дорогой. Глубинные насосы – это центробежные агрегаты, способные работать при возникновении внутри их корпуса центробежной силы. Рабочее колесо конструкции представляет собой диски, скрепленные изогнутыми лопастями. Вода внутри корпуса насоса заполняет пустое пространство между лопастями и попадает под действие центробежной силы вращающегося рабочего колеса. Благодаря этому создается разница давлений: в центре корпуса оно низкое, а на периферии, наоборот, высокое. Из-за подобного несоответствия давлений, вода из водоема втягивается внутрь корпуса, а затем, через выходной патрубок, с напором выкидывается наружу

### **Конструкция и основные параметры погружного насоса**

Чтобы погружные скважинные насосы выработали свой, заложенный в них конструкторами ресурс, необходимо соблюдать правила их эксплуатации, иначе скважинный насос может сгореть. Начнем с конструкции насоса для скважин[2].

Погружной насос для воды, изображенный на рисунке 3, состоит из погружного водозаполненного электродвигателя и центробежного скважинного насоса, как правило, имеющего несколько ступеней. Ступени монтируются на валу насоса 11 и с помощью стяжек 3 крепятся к основанию 16 насоса. С другой стороны, к основанию крепится электродвигатель.

Ступень центробежного погружного насоса состоит из обоймы 7, в которой закреплены кольцо 8 и лопаточный отвод 6 (ЛО), а также рабочего колеса 9 (РК), закрепленного на валу скважинного насоса с помощью шпонки 12. Между собой на валу РК фиксируются проставочными втулками 10.

Опорами вала служат верхний и нижний резинометаллические подшипники. Верхний подшипник 4 располагается в корпусе 5, к которому

прикреплены головка насоса 1 с обратным клапаном 2. Головка имеет коническую резьбу для присоединения насоса к водоподъемной колонне.

Подшипники смазываются перекачиваемой водой.

Нижний конец вала насоса ЭЦВ и хвостовик ротора электродвигателя соединены между собой с помощью муфты 15 и шпонок 13 и 17.

Между валом и хвостовиком установлены регулировочные шайбы 14, для выставления необходимого зазора между РК и ЛО.

Электродвигатель скважинного насоса - трехфазный асинхронный с короткозамкнутым ротором и изолированным нулевым проводом. Обмотки фаз соединены звездой.

На корпусе статора 20 закреплены верхний 19 и нижний 24 подшипниковые щиты, а также кольцо 25 крепления днища 30 с элементами упорного осевого подшипника к корпусу статора. В каждом щите расположено по два подшипника 21. Внутри корпуса статора запрессован пакет пластин магнитопровода 22, образующих пазы для укладки обмотки статора. Обмотка статора выполнена специальным обмоточным проводом типа ПВДП с полиэтиленовой изоляцией, способной обеспечить работу электродвигателя полностью погруженным в воду. Концы обмоток выводятся на поверхность с помощью погружного кабеля 18 типа ВПП.

Ротор 23 имеет обычную конструкцию "беличьей клетки" с алюминиевыми либо медными проводниками. На нижнем конце ротора с помощью шпонки и стопорного кольца закреплена пята 26. Пята и подпятник 27 вместе со сферой 29 образуют упорный подшипниковый узел для восприятия гидравлических осевых сил, а также массы ротора электродвигателя и насоса для скважин.

Перед монтажом погружного насоса в скважине электродвигатель заполняется водой. Слив воды производится через специальную пробку 28 в днище. Вода служит для смазки подшипников и охлаждения статора.

Основание закрыто сеткой для предотвращения попадания в скважинный насос крупных механических включений.

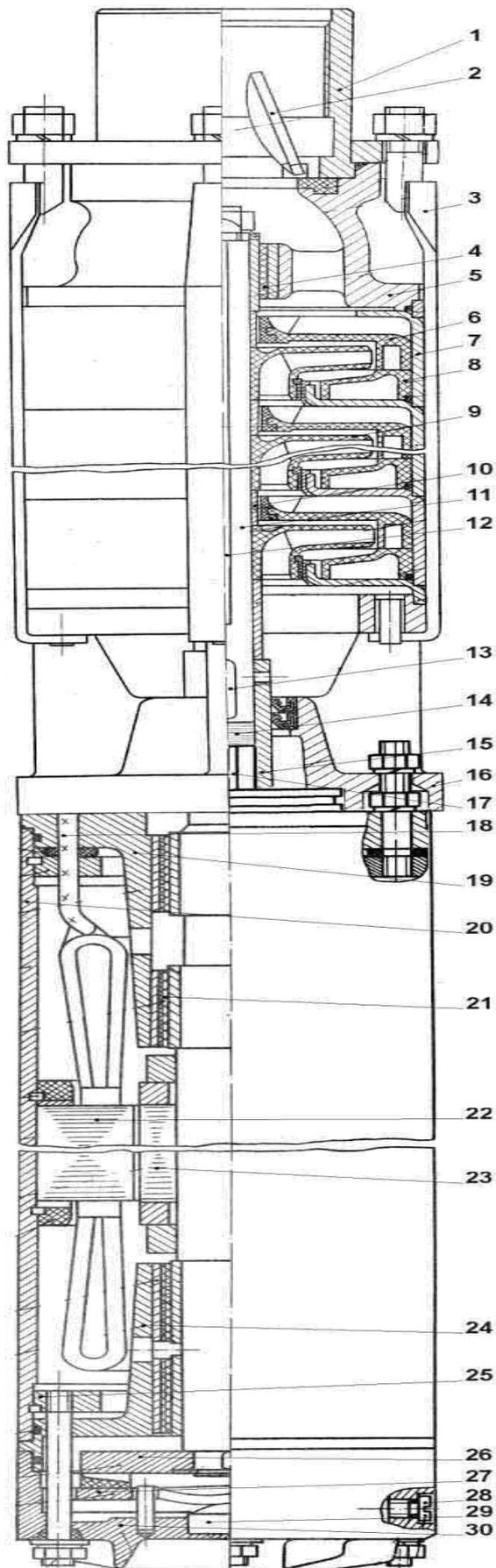


Рисунок 3 – Конструкция погружного насоса ЭЦВ

# 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## 1.1. Анализ технологического процесса

При описании технологической установки используются некоторые термины, являющиеся специфическими для данного типа установок:

Насос – гидравлическая машина, преобразующая механическую энергию приводного двигателя в энергию потока жидкости, служащая для перемещения и создания напора жидкостей всех видов, механической смеси жидкости с твёрдыми и коллоидными веществами или сжиженных газов.

Насосный агрегат (НА) – это совокупность насоса, электропривода и передаточного механизма (муфта, редуктор, шкив).

Насосная установка (НУ) – это система оборудования обеспечивающий необходимый режим работы насосов одного или нескольких насосных агрегатов.

Насосная станция (НС) – это сооружение, состоящая из одной или нескольких насосных установок, а также содержащая в себе вспомогательные системы и оборудование.

Насосные установки делятся на:

- Водопроводные
- Канализационные
- Мелиоративные
- Теплофикационные

Теплофикационные насосные станции (тепловые пункты) предназначены для подачи потребителям горячей воды требуемых параметров.

Насосные установки ежегодно потребляют около 20% электроэнергии, вырабатываемой энергосистемами. В настоящее время большая часть насосных установок работают неэкономично. Потери электроэнергии составляют 10-25%, потребляемой электроэнергии. Для снижения потерь электроэнергии в насосных установках целесообразно применение

экономических способов регулирования, основанных на изменении частоты вращения рабочих колес насоса В современных насосных установках изменение частоты вращения насосов осуществляется с помощью автоматизированного электропривода (АЭП).

## 2. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ

### 2.1 выбор насоса и двигателя

По заданным параметрам выбираем погружной насос типа ЭЦВ 12-160-100



Рисунок 4 – Погружной насос ЭЦВ 12-160-100

Таблица 1 – Технические данные центробежного насоса ЭЦВ 12-160-100 [1]

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| Подача Q, м <sup>3</sup> /час | 160  |
| Напор H, м                    | 100  |
| Частота вращения, об/мин      | 2700 |
| Масса, кг                     | 286  |
| Длина, мм                     | 1800 |
| КПД насоса                    | 0,75 |

Насосы типа «ЭЦВ» - артезианский погружной глубинный скважинный центробежный насос, многоступенчатый, секционный, вертикальный, с закрытым лопастным колесом одностороннего входа. Глубинный насос ЭЦВ предназначен для подъема воды общей минерализацией не более 1500 мг/л, водородным показателем pH от 6.5 до 9.5, с температурой до 25 °С, с массовой долей твердых механических примесей не более 0,01%, содержанием

хлоридов не более 350 мг/л, сульфатов не более 500 мг/л, сероводорода не более 1,5 мг/л. Материал проточной части погружного насоса ЭЦВ – чугун, полифосфонитрилхлорид (норил), нержавеющая сталь, бронза[3].

Насос погружной ЭЦВ – одно - или многоступенчатый с вертикальным расположением вала, работает с подпором (расстояние от поверхности воды до напорного патрубка насоса – обеспечивает смачивание верхнего подшипника при запуске и бескавитационную работу насоса). Величина подпора – 1 метр. Ступени глубинного насоса ЭЦВ – радиального и полуосевого типов.

Погружной скважинный насос ЭЦВ опускается в скважину на колонне водоподъемных труб и подвешивается на устье скважины. Перекачиваемая жидкость поступает в погружной насос ЭЦВ через фильтрующую сетку корпуса на рабочее колесо. Подшипники насоса и электродвигателя смазываются и охлаждаются водой. Рабочее положение агрегата – вертикальное. Погружной насос никогда не должен работать "всухую" - даже кратковременное включение артезианского насоса в работе без воды приводит к повреждению подшипников и обмотки двигателя. Погружные артезианские насосы марки ЭЦВ оснащаются обратным клапаном (тарельчатого или шарикового типа), который, удерживая в трубопроводе столб воды во время отключения насоса, что значительно облегчает повторный запуск насосного агрегата и защищает глубинный насос от обратного вращения колес насоса, а следовательно и двигателя, в случае обратного движения накаченной в трубопровод воды.

Условное обозначение артезианского насоса: ЭЦВ 12-160-100 нро,  
где:

- Э – с приводом от погружного электродвигателя
- Ц - центробежный
- В - для подачи воды
- 12-минимально допустимый внутренний диаметр обсадной колонны, мм,

- 160-подача, м.куб./ч;
- 100- напор,м.

### Выбор приводного двигателя для центробежного насоса

Требуемая скорость вращения двигателя:

$$n_{\text{мех.прив}} = n_{\text{нас.н}} \cdot i_{\text{ред}} = 2700 \cdot 1 = 2700 \text{ об/мин};$$

$$\omega_{\text{мех.прив}} = \frac{\pi}{30} \cdot n_{\text{мех.прив}} = \frac{3,14}{30} \cdot 2700 = 282,6 \text{ рад/с.}$$

Требуемая мощность двигателя

$$P_c = \frac{10000 \cdot Q \cdot H}{3600 \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{ред}}} \cdot 10^{-3} = \frac{10000 \cdot 160 \cdot 100}{3600 \cdot 0,75 \cdot 1} \cdot 10^{-3} = 59,26 \text{ кВт.}$$

Максимальный момент нагрузки на валу двигателя

$$M_{\text{сприв}} = \frac{P_c}{\omega_{\text{мех.прив}}} \cdot 10^{-3} = \frac{59260}{282,6} = 209,696 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Момент от сил трения насоса на валу двигателя

$$\Delta M_{\text{смех}} = 0,1 \cdot M_{\text{сприв}} = 0,1 \cdot 209,696 = 20,9 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

### Справочные параметры двигателя

Из условий:  $n_{\text{дв.н}} \geq n_{\text{мех.прив}} \geq 2700 \text{ об/мин}; P_{\text{дв.н}} \geq P_c \geq 59,26 \text{ кВт};$

$$M_{\text{дв.н}} \geq M_{\text{сприв}} \geq 209,696 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

Выбираем электродвигатель ПЭДВ 65-219 со следующими паспортными данными:

Таблица 2 – Технические характеристики электродвигателя ПЭДВ 65–219.

| Типо-размер    | $n_0$ ,<br>об/мин             | $U_{1Н}$ ,<br>В               | $P_{\text{дв.н}}$ ,<br>кВт   | При номинальной нагрузке |                               |              |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------|
|                |                               |                               |                              | $s_H$ , %                | $\cos\phi_H$                  | $\eta_H$ , % |
| ПЭДВ<br>65–219 | 3000                          | 380                           | 65                           | 0,04                     | 0,85                          | 0,86         |
|                | $\frac{M_{\text{пуск}}}{M_H}$ | $\frac{M_{\text{макс}}}{M_H}$ | $\frac{M_{\text{мин}}}{M_H}$ | $k_{i \text{ дв}}$       | $\frac{I_{\text{пуск}}}{I_H}$ |              |
|                | 1,2                           | 2,2                           | 1                            |                          | 5                             |              |

Электродвигатели асинхронные трехфазные с короткозамкнутым ротором типа ПЭДВ 65–219 предназначены для привода механизмов,

требующих регулирования частоты вращения, а также для привода механизмов с тяжелыми условиями пуска. Двигатели предназначены для работы от сети переменного тока частотой 50 Гц напряжением 380 В.

Вид климатического исполнения – УЗ.

Номинальный режим работы - продолжительный S1.

Способ охлаждения двигателей - Водой.

Степень защиты двигателей – IP44,

Номинальная мощность приводного двигателя должна быть равна или несколько больше мощности на валу насоса во всех его возможных технологических режимах работы.

### 3. Расчет дополнительных параметров двигателя и схемы замещения в программе MathCAD

Наиболее простой и удобной для расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, представленная на рисунке.

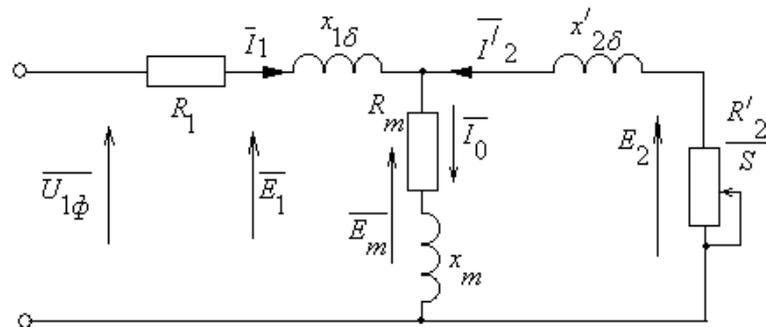


Рисунок 5 - Схема замещения асинхронного двигателя

- $U_{1\phi}$  – фазное напряжение подводимое к обмотке статора двигателя;
- $I_1$  – ток обмотки статора;
- $R_1$  – активное сопротивление обмотки статора;
- $X_{1\sigma}$  – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора;
- $I'_2$  – приведенный ток обмотки ротора к обмотке статора;
- $R'_2$  – приведенное активное сопротивление цепи обмотки ротора к цепи обмотке статора;
- $X'_{2\sigma}$  – приведенное индуктивное сопротивление рассеяния цепи обмотки ротора к цепи обмотке статора;
- $I_0$  – ток холостого хода (намагничивания);

$X_m$  - индуктивное сопротивление контура намагничивания

Синхронная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_{\text{ов.ном}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{ов.ном}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 2880}{30} = 301,44 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальное скольжение двигателя:

$$s_H = 1 - \frac{n_{\text{ов.ном}}}{n_0} = 1 - \frac{2880}{3000} = 0,04$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{ов.ном}} = \frac{P_{\text{ов.ном}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{ов.ном}}} = \frac{65 \cdot 10^3}{301,44} = 215,632 \text{ Нм}.$$

Номинальное фазное напряжение и номинальный фазный и линейный ток статора (действующее значение) при схеме соединения обмоток звездой:

$$U_{1\text{фн}} = \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В};$$

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = \frac{P_{\text{ов.ном}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{65 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,85 \cdot 0,86} = 134,726 \text{ А}.$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - (p_* \cdot I_{1\text{н}} \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H))^2}{1 - (p_* \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H))^2}} = \\ = \sqrt{\frac{104,17^2 - (0,75 \cdot 134,726 \cdot (1 - 0,04) / (1 - 0,75 \cdot 0,04))^2}{1 - (0,75 \cdot (1 - 0,04) / (1 - 0,75 \cdot 0,04))^2}} = 43,527 \text{ А},$$

где  $I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\text{ф}} \cdot \cos \varphi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0,75 \cdot 65000}{3 \cdot 220 \cdot 0,825 \cdot 0,86} = 104,17 \text{ А}$  – ток статора двигателя при

частичной нагрузке;

$\eta_{p_*} = \eta_H = 0,86$  – КПД при частичной нагрузке;

$\cos \varphi_{p_*} = 0,97 \cdot \cos \varphi_H = 0,97 \cdot 0,85 = 0,825$  – коэффициент мощности при частичной нагрузке;

$p_* = \frac{P}{P_H} = 0,75$  – коэффициент загрузки двигателя.

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения. Принимаем  $\beta=1$  (коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора):

$$s_K = s_H \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,04 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 - (1 - 2 \cdot 0,04 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,04 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,185 \text{ о.е.}$$

Далее определяем ряд промежуточных коэффициентов:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{43,527}{2 \cdot 5 \cdot 134,726} = 1,032;$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,04)}{2 \cdot 1,032 \cdot 2,2 \cdot 65000} = 0,472.$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_K}\right) \cdot C_1} = \frac{0,472}{\left(1 + \frac{1}{0,185}\right) \cdot 1,032} = 0,071 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статорной обмотки:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,032 \cdot 0,071 \cdot 1 = 0,074 \text{ Ом.}$$

Определим параметр  $\gamma$ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_K^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,185^2} - 1^2} = 5,308.$$

Тогда сопротивление короткого замыкания:

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 5,308 \cdot 1,032 \cdot 0,071 = 0,391 \text{ Ом.}$$

Для того, чтобы выделить из индуктивного сопротивления короткого замыкания сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, воспользуемся соотношениями, которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X'_{2H} = \frac{0,58 \cdot X_{KH}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 0,391}{1,032} = 0,22 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки:

$$X_{1H} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,42 \cdot 0,391 = 0,164 \text{ Ом.}$$

ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме:

$$E_m = \sqrt{\left(U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_H - R_1 \cdot I_{1H}\right)^2 + \left(U_{1\phi} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H} - X_{1H} \cdot I_{1H}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{(220 \cdot 0,85 - 0,074 \cdot 134,726)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,85^2} - 0,164 \cdot 134,726)^2} = 200,346 \text{ В.}$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания определится как:

$$X_{\mu n} = \frac{E_m}{I_0} = \frac{200,346}{43,527} = 4,603 \text{ Ом.}$$

По найденным значениям  $C_1$ ,  $R'_2$  и  $X_{\text{кн}}$  определим критическое скольжение:

$$s_{\text{к1}} = \frac{C_1 \cdot R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}} = \frac{1,032 \cdot 0,071}{\sqrt{0,074^2 + 0,391^2}} = 0,185.$$

Индуктивность рассеяния статорной обмотки:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\text{н}}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{0,164}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 5,234 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

Индуктивность рассеяния роторной обмотки, приведенной к статорной:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\text{н}}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{0,22}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 7,002 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

Индуктивность ветви намагничивания:

$$L_{\mu n} = \frac{X_{\mu n}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{4,603}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,015 \text{ Гн.}$$

Значение номинального потокосцепления двигателя

$$\Psi_{2\text{н}} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 43,527 \cdot 0,015 = 0,902 \text{ Вб.}$$

*Проверка адекватности расчетных параметров двигателя*

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{L_m + L_{2\sigma}} \cdot \Psi_{2\text{н}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\text{н}}^2 - I_0^2} =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot \frac{0,015}{0,015 + 0,0007} \cdot 0,902 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{134,726^2 - 43,527^2} = 232,806 \text{ Нм.}$$

$$\frac{M_{\text{эм.н}}^*}{M_{\text{об.ном}}^*} = \frac{232,806}{215,632} = 1,08 - \text{условие } M_{\text{эм.н}}^* = (1,05 \div 1,1) \cdot M_{\text{об.ном}}^* \text{ выполняется.}$$

Значение номинального электромагнитного момента двигателя:

$$M_{\text{эм.н}}(s_H) = M_{\text{эм.н}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[ (X_{\text{кн}})^2 + \left( R_1 + \frac{R'_2}{s_H} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R'_2}{s_H \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,071}{314 \cdot 0,04 \cdot \left[ 0,391^2 + \left( 0,074 + \frac{0,071}{0,04} \right)^2 + \left( \frac{0,074 \cdot 0,071}{0,04 \cdot 4,603} \right)^2 \right]} = 228,476 \text{ Нм};$$

Момент сопротивления от сил трения на валу:

$$M_C = M_{\text{эм.н}} - M_{\text{об.н}} = 228,476 - 215,632 = 12,844 \text{ Нм.}$$

Параметры схемы замещения сведем в таблицу 3.

Таблица 3 – Параметры схемы замещения электродвигателя

| $R_1, Ом$ | $X_{1\sigma}, Ом$ | $L_{1\sigma}, Гн$     | $X_{\mu}, Ом$ | $L_{\mu}, Гн$ | $R_2', Ом$ | $X'_{2\sigma}, Ом$ | $L'_{2\sigma}, Гн$    | $X_{KH}, Ом$ |
|-----------|-------------------|-----------------------|---------------|---------------|------------|--------------------|-----------------------|--------------|
| 0,074     | 0,164             | $5,234 \cdot 10^{-4}$ | 4,603         | 0,015         | 0,071      | 0,22               | $7,002 \cdot 10^{-4}$ | 0,391        |

#### 4. Расчет естественных механической и электромеханической характеристик в программе MathCAD

##### *Расчет естественной механической характеристики*

Естественная механическая характеристика  $M(s)$  системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель рассчитывается для частоты  $f_H = f_{1H} = 50 Гц$  по выражению:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[ (X_{KH})^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]}$$

По результатам расчета строится естественная механическая характеристика  $\omega(M)$  (рисунок 6), где  $\omega = \omega_0 \cdot (1-s)$ .

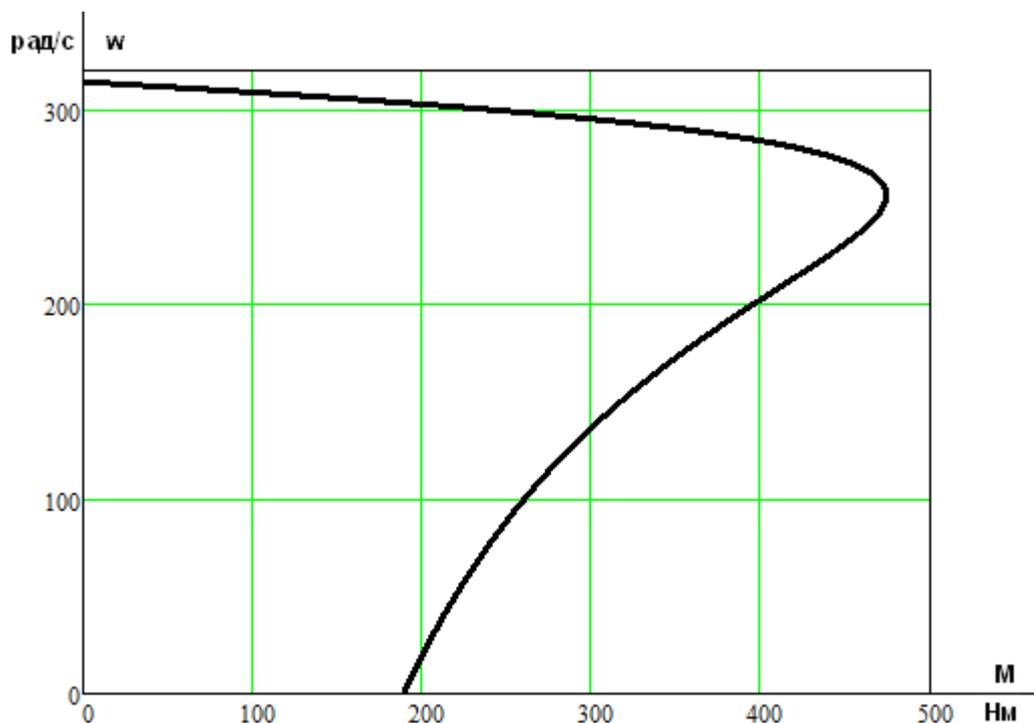


Рисунок 6 – Естественная механическая характеристика электродвигателя  $\omega(M)$

*Расчет естественной электромеханической характеристики*

Естественная электромеханическая характеристика  $I_1(s)$  разомкнутой системы преобразователя частоты – асинхронный двигатель рассчитывается для значений частоты  $f_H = f_{1H} = 50 \text{Гц}$  по выражению:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2(s) \cdot \sin \varphi_2(s)},$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}};$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2}}.$$

По результатам расчета строим естественную электромеханическую характеристику  $\omega(I_1)$  (рисунок 7).

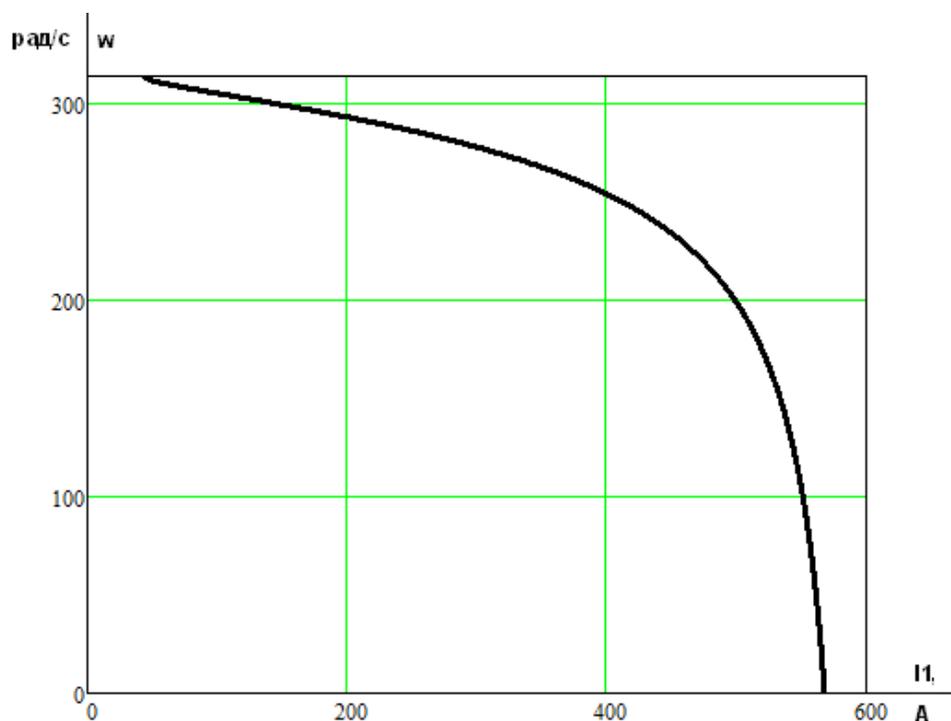


Рисунок 7 – Естественная электромеханическая характеристика  $\omega(I_1)$

**5. Выбор преобразователя частоты**

Основными недостатками асинхронных электродвигателей до недавнего времени оставались сложность и неэкономичность регулирования их частоты вращения, а плавное регулирование двигателей с короткозамкнутым ротором было практически невозможно. В то же время необходимость регулирования частоты вращения была особенно важна для привода механизмов, применяемых для изменения расходов и работающих с переменной нагрузкой[5].

С развитием силовой полупроводниковой и микропроцессорной техники в последние 15-20 лет стало возможным создание устройств частотного регулирования электроприводов с асинхронными двигателями. Эти устройства позволили экономично и точно управлять скоростью и моментом двигателя, избавиться от дросселирования производительности насосов и вентиляторов при помощи вентилей и заслонок, от применения неэкономичных гидромуфт, а также сложных и дорогостоящих приводов постоянного тока.

Частотно-регулируемый привод (ЧРП) состоит из асинхронного электрического двигателя М и преобразователя частоты ПЧ (рисунок 8):

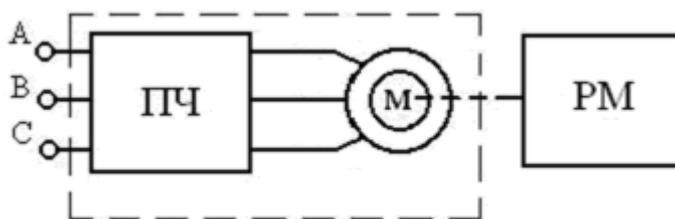


Рисунок 8 - Общая структура ЧРП

Электрический двигатель приводит в движение рабочий механизм РМ (насос, вентилятор, конвейер, питатель и т.п.). Преобразователь частоты ПЧ представляет собой статическое электронное устройство, которое управляет электрическим двигателем. На выходе преобразователя формируется электрическое напряжение с регулируемой частотой и амплитудой.

Регулирование частоты вращения ротора асинхронного двигателя основано на изменении частоты вращающегося магнитного поля, создаваемого статором двигателя.

В наиболее распространенном частотно-регулируемом приводе на основе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором применяются два вида управления – скалярное и векторное.

При скалярном управлении одновременно изменяют частоту и амплитуду подводимого к двигателю напряжения.

Частотный преобразователь состоит из системы управления, выпрямителя и шины постоянного тока. Входное синусоидальное напряжение с постоянной амплитудой и частотой выпрямляется в звене постоянного тока В, сглаживается фильтром состоящим из дросселя  $L_B$  и конденсатора фильтра  $C_B$ , а затем вновь преобразуется инвертором АИН в переменное напряжение изменяемой частоты и амплитуды. Регулирование выходной частоты  $f_{\text{вых}}$  и напряжения  $U_{\text{вых}}$  осуществляется в инверторе за счет высокочастотного широтно-импульсного управления. Широтно-импульсное управление характеризуется периодом модуляции, внутри которого обмотка статора электродвигателя подключается поочередно к положительному и отрицательному полюсам выпрямителя.

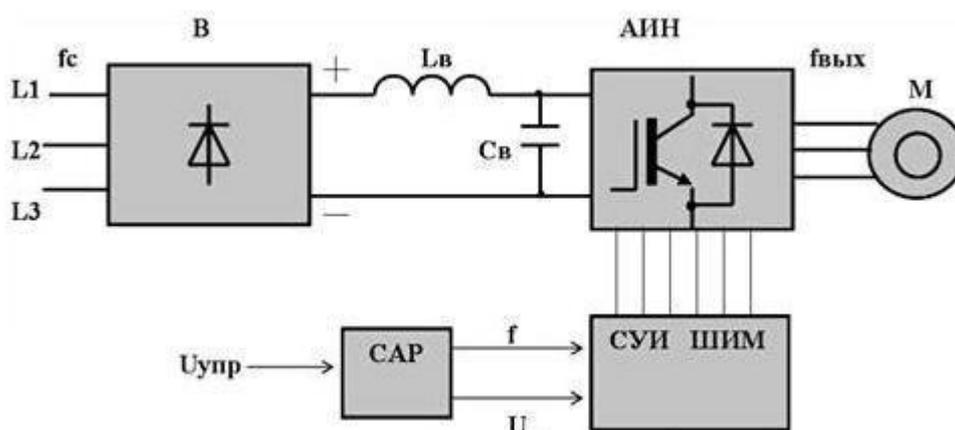


Рисунок 9 - Структурная схема частотного преобразователя

Длительность подключения каждой обмотки в пределах периода следования импульсов модулируется по синусоидальному закону.

Наибольшая ширина импульсов обеспечивается в середине полупериода, а к началу и концу полупериода уменьшается. Таким образом, система управления СУИ обеспечивает широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) напряжения, прикладываемого к обмоткам двигателя. Амплитуда и частота напряжения определяются параметрами модулирующей синусоидальной функции. Таким образом, на выходе преобразователя частоты формируется трехфазное переменное напряжение изменяемой частоты и амплитуды.

Преобразователь выбирается по номинальному (длительно допустимому) току  $I_{ин}$  по следующему условию:

$$I_{ин} \geq I_{1.лн} \cdot \frac{M_{с.макс}}{M_{дв.ном}} = 134,726 \cdot \frac{209,696}{215,632} = 131,017 \text{ A};$$

Выбираем преобразователь частоты из [5].

Таблица 4 – Параметры преобразователя частоты

| Тип                  | Параметры питающей сети |            | Выходное напряжение $U_{н}$ , В | Выходная частота $f_{н}$ , Гц | Выходной ток |                  | Рекомендуемая мощность двигателя $P_2$ , кВт |
|----------------------|-------------------------|------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------|------------------|--|
|                      | $U_{1л}$ , В            | $f_c$ , Гц |                                 |                               | $I_{ин}$ , А | $I_{и.макс}$ , А |  |
| VLT5102<br>«Danfoss» | 3х<br>380               | 50         | 380                             | 0÷132                         | 147          | 221              | 75   |

### Выбор закона регулирования

С учетом того, что диапазон регулирования скорости насосов невелик и механизмы такого класса не требуют обеспечения высокой кратности пускового и максимального моментов, в качестве законов регулирования  $U_1/f_1$  могут быть приняты законы  $U_1/f_1 = \text{const}$  и  $U_1/f_1^2 = \text{const}$ .

Так как насосные установки имеют нелинейно возрастающую механическую характеристику, зависящую от скорости двигателя, то примем в дальнейших расчетах в качестве закона регулирования  $U_1/f_1^2 = \text{const}$

## Определение интервала частот инвертора

Максимальная скорость вращения электропривода равна номинальной скорости двигателя:

$$\omega_{\text{эл.макс}} = \omega_{\text{мех.прив}} = 282,6 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

К насосным установкам не предъявляется требований к широкому диапазону регулирования скорости, обычно этот показатель составляет 1:2 или 1:3. Исходя из этого, принимаем минимальную скорость вращения электропривода:

$$\omega_{\text{эл.мин}} = \frac{\omega_{\text{эл.макс}}}{3} = \frac{282,6}{3} = 94,2 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Частоты инвертора, необходимые для обеспечения требуемых скоростей вращения, находим, решая совместно уравнения механической характеристики двигателя и нагрузки:

$$\frac{3 \cdot [U_1(f_1)]^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \cdot s \cdot \left[ \left( X_{\text{кн}} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}} \right)^2 \right]} = M_c(\omega)$$

где

$U_1(f_1) = U_{1\text{фн}} \cdot \left( \frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 = 220 \cdot \left( \frac{f_1}{50} \right)^2$  – вольт-частотная характеристика при законе управления  $U_1/f_1^2 = \text{const}$ ;

$$M_{\text{сприв}}(\omega) = \Delta M_{\text{с мех}} + \left( \frac{M_{\text{сприв}}}{\omega_{\text{мех.прив}}^3} \right) \cdot \omega^3 = 20,9 + \left( \frac{209,696}{282,6^3} \right) \cdot \omega^3 =$$

$= 20,9 + \left( \frac{209,696}{282,6^3} \right) \cdot \omega^3 = 20,9 + 9,291 \cdot 10^{-6} \cdot \omega^3$  – механическая характеристика насоса.

Используем для определения частот инвертора программную среду MathCAD.

Для минимальной скорости

$$\frac{3 \cdot \left[ U \cdot \left( \frac{z}{f} \right)^2 \right] \cdot R_2}{\left( \frac{2 \cdot 3.14 \cdot z}{z_p} - \frac{w}{3} \right) \cdot \left[ \left( X_{\text{кн}} \cdot \frac{z}{f} \right)^2 + \left[ R_1 + \frac{R_2}{\left( \frac{2 \cdot 3.14 \cdot z}{z_p} - \frac{w}{3} \right)} \right]^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2}{\frac{2 \cdot 3.14 \cdot z}{z_p} - \frac{w}{3}} \right)^2 \right]} - M_{e1} - M_{\text{н}} \cdot \left( \frac{w}{w \cdot 3} \right)^3 \text{ solve, } z \rightarrow \begin{pmatrix} 16.924668152042313128 \\ 16.333333333333333333 \\ 16.333333333333333333 \\ 3.7972140760229205489 - 4.3224753826986163292i \\ 3.7972140760229205489 + 4.3224753826986163292i \\ -1.7620769218264435904 + 8.5992778440260954606i \\ -1.7620769218264435904 - 8.5992778440260954606i \end{pmatrix}$$

Принимаем частоту инвертора:  $f_{\text{и.мин}} = 17$  Гц.

## 6. Расчет семейства механических и электромеханических характеристик при изменении частоты в программе MathCAD

Механические характеристики  $\omega(M)$  разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель при законе регулирования  $U_1/f_1^2 = \text{const}$  для ряда выбранных значений выходной частоты инвертора в интервале от 17 до 50 Гц рассчитываются по выражениям:

$$M(s, f_1) = \frac{3 \cdot U_1^2(f_1) \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \cdot s \cdot \left[ \left( X_{\text{кн}} \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right)^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{н}}}} \right)^2 \right]};$$

где

$$U_1(f_1) = U_{1\text{фн}} \cdot \left( \frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right)^2 = 220 \cdot \left( \frac{f_1}{50} \right)^2; \quad \omega(s, f_1) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \cdot (1-s).$$

Механическая характеристика центробежного насоса определяется по выражению:

$$\begin{aligned} M_{\text{сприв}}(\omega) &= \Delta M_{\text{смех}} + \left( \frac{M_{\text{сприв}}}{\omega_{\text{мех.прив}}^3} \right) \cdot \omega^3 = 20,9 + \left( \frac{209,696}{282,6^3} \right) \cdot \omega^3 = \\ &= 20,9 + \left( \frac{209,696}{282,6^3} \right) \cdot \omega^3 = 20,9 + 9,291 \cdot 10^{-6} \cdot \omega^3. \end{aligned}$$

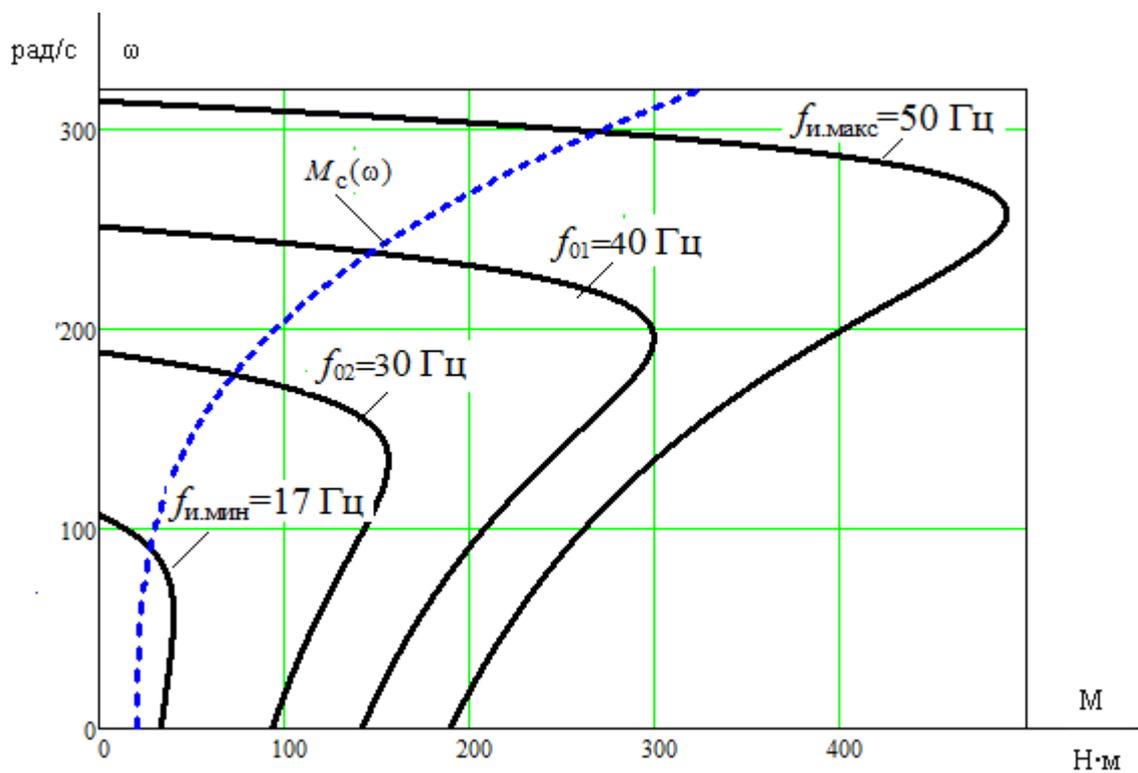


Рисунок 10 – Механические характеристики двигателя ПЭДВ 65-219 при выбранном законе регулирования  $U/f^2 = \text{const}$

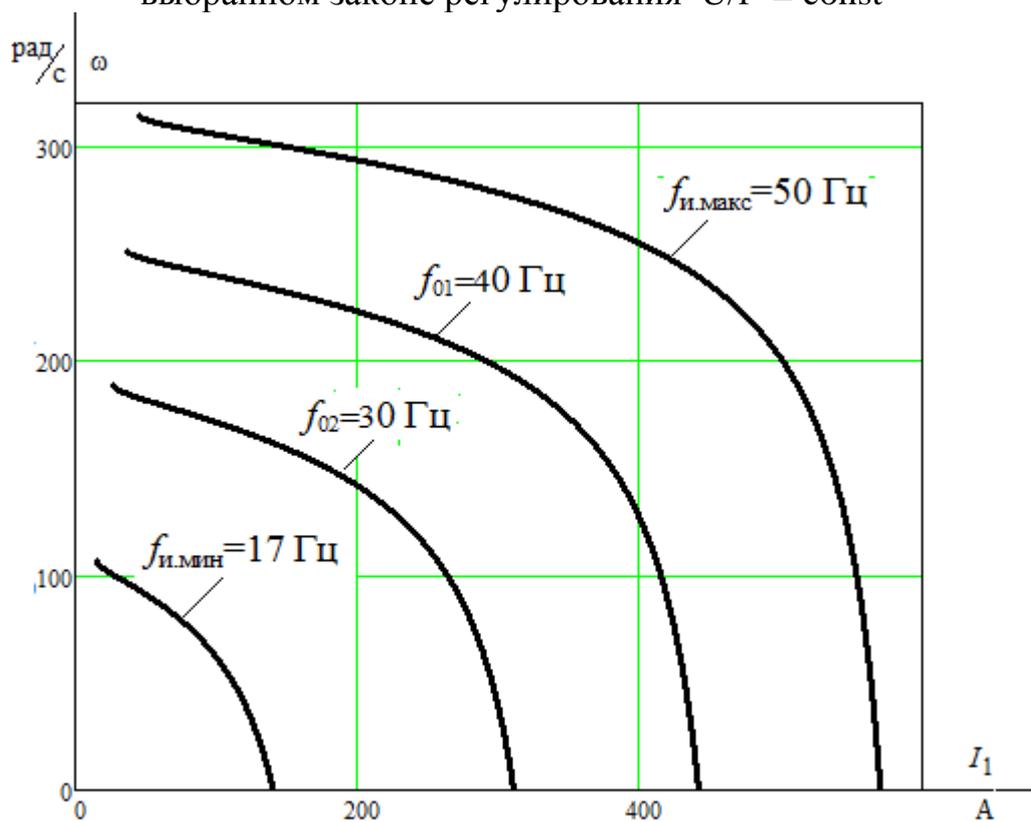


Рисунок 11 – Электромеханические характеристики двигателя ПЭДВ 65-219 при выбранном законе регулирования  $U/f^2 = \text{const}$

## 7. Математическое моделирование

### Имитационная модель силового канала электропривода

Имитационная модель силового канала электропривода представлена на рисунке 12.

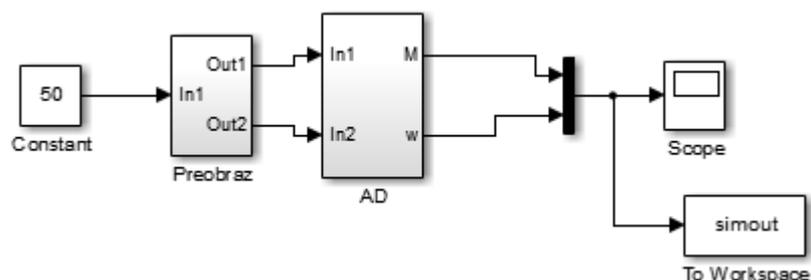


Рисунок 12 – Имитационная модель силового канала электропривода

Схема набора имитационной модели двухфазного преобразователя частоты, представленного подсистемой «Preobraz» представлена на рисунке 13.

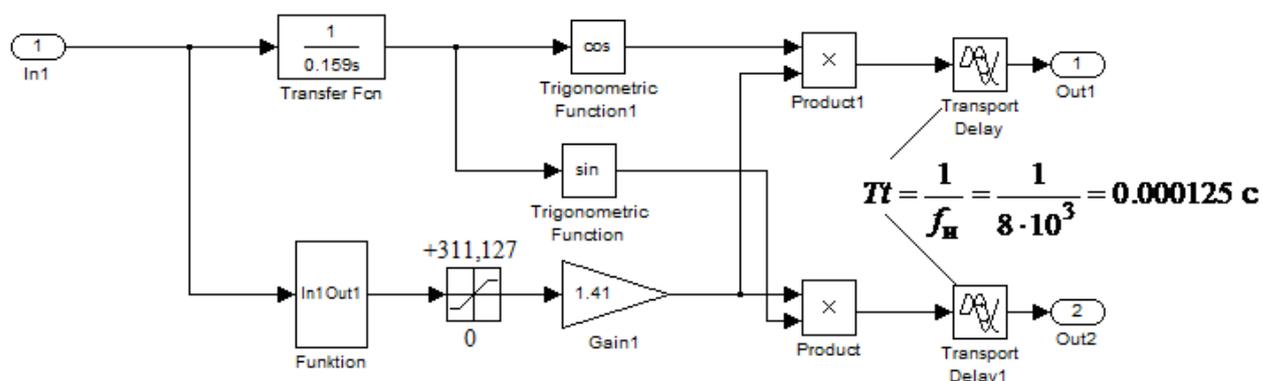


Рисунок 13 – Схема набора имитационной модели двухфазного преобразователя частоты

Подсистема «Funktion» реализует математическую функцию

$$U_1(f_1) = U_{1\text{фн}} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}}\right)^2 = 220 \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2 = 0,088 \cdot f^2$$

при законе регулирования  $U_1/f_1^2 = \text{const}$  (рисунок 14).



Рисунок 14 – Подсистема «Funktion» при законе регулирования  $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Подсистема «AD» представляет собой модель асинхронного двигателя в двухфазной неподвижной системе координат с нелинейной «вентиляторной» нагрузкой насоса (рисунок 15).

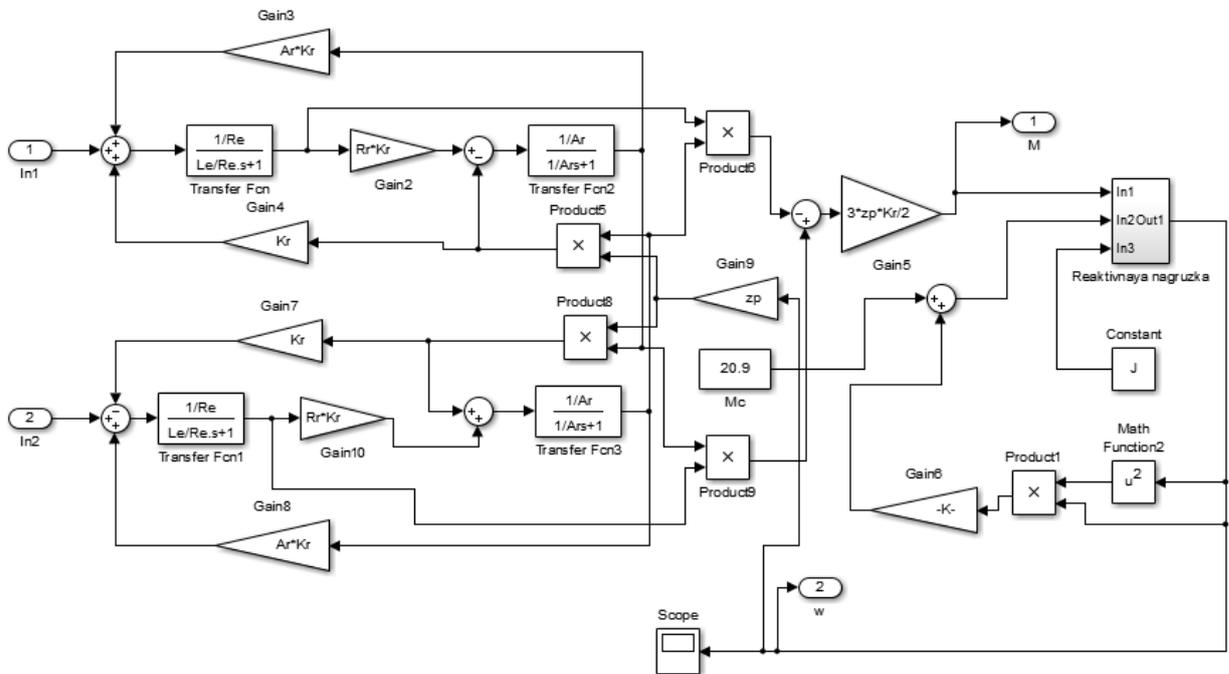


Рисунок 15 – Подсистема «AD»

**%Параметры двигателя**

```
f=50;
Rs=0.074;
Rr=0.071;
Ls_=0.164/(2*pi*f);
Lr_=0.22/(2*pi*f);
Lm=4.603/(2*pi*f);
p=2;
J=0.25;
Ls=Ls_+Lm;
Lr=Lr_+Lm;
zp=p/2;
Kr=Lm/Lr;
Re=Rs+Rr*Kr^2;
Le=Ls-Lm^2/Lr;
Uamp=220*sqrt(2);
Ar=Rr/Lr;
Wref=2*pi*f;
```

На рисунках 16–19 представлены переходные процессы скорости вала и электромагнитного момента асинхронного электропривода при пуске на частоты  $f=50$  Гц;  $f=40$  Гц;  $f=30$  Гц;  $f=17$  Гц.  $I_1(t)$  А

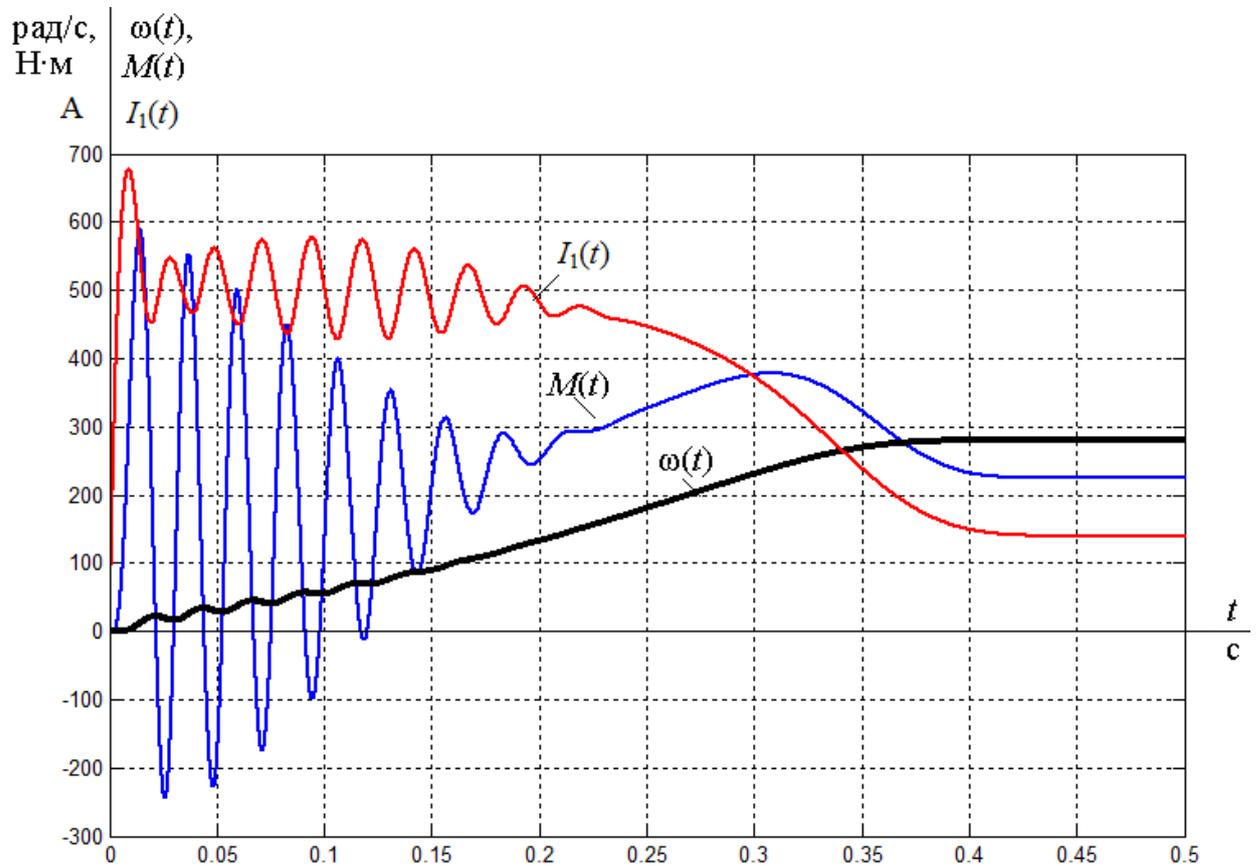


Рисунок 16 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости  $U/f^2 = \text{const}$  при значении частоты  $f=50$  Гц

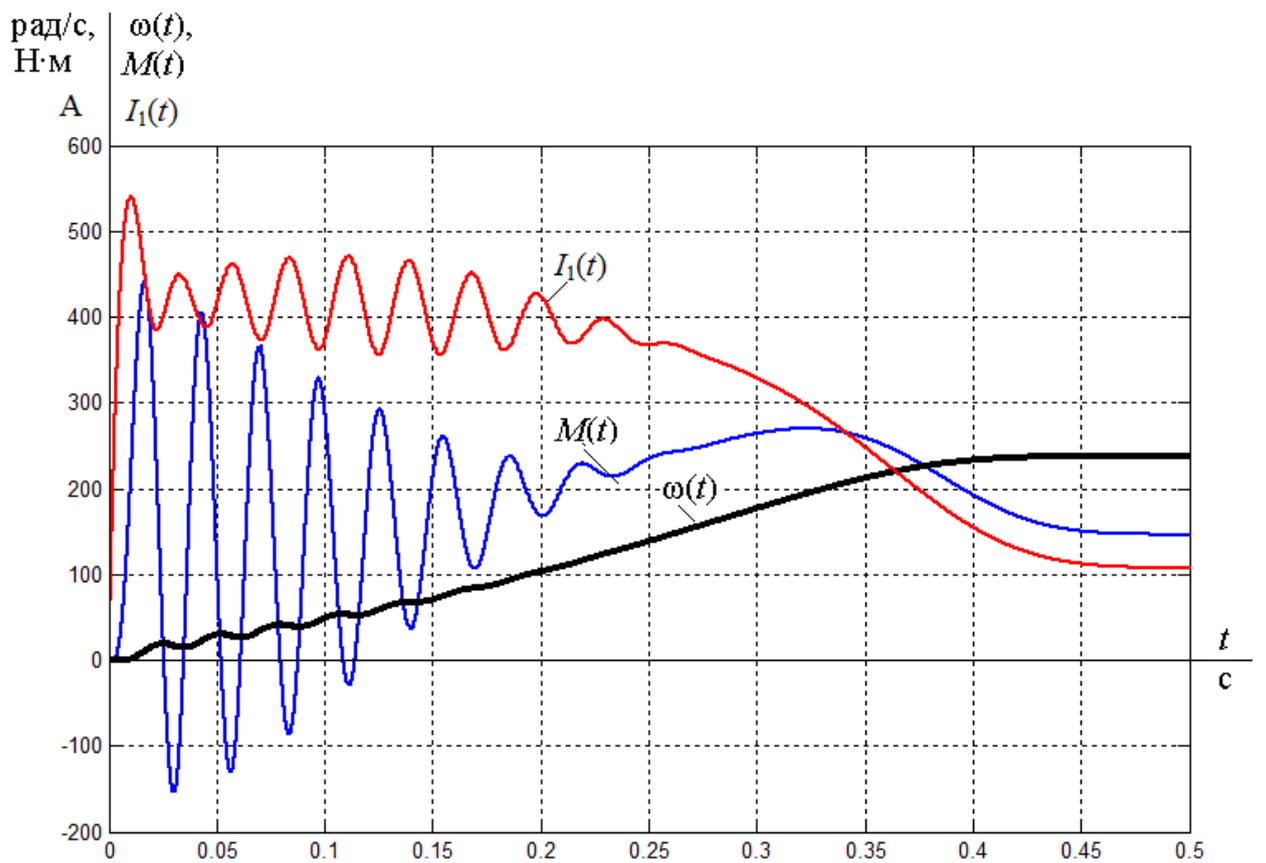


Рисунок 17 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости  $U/f^2 = \text{const}$  при значении частоты  $f = 40$  Гц

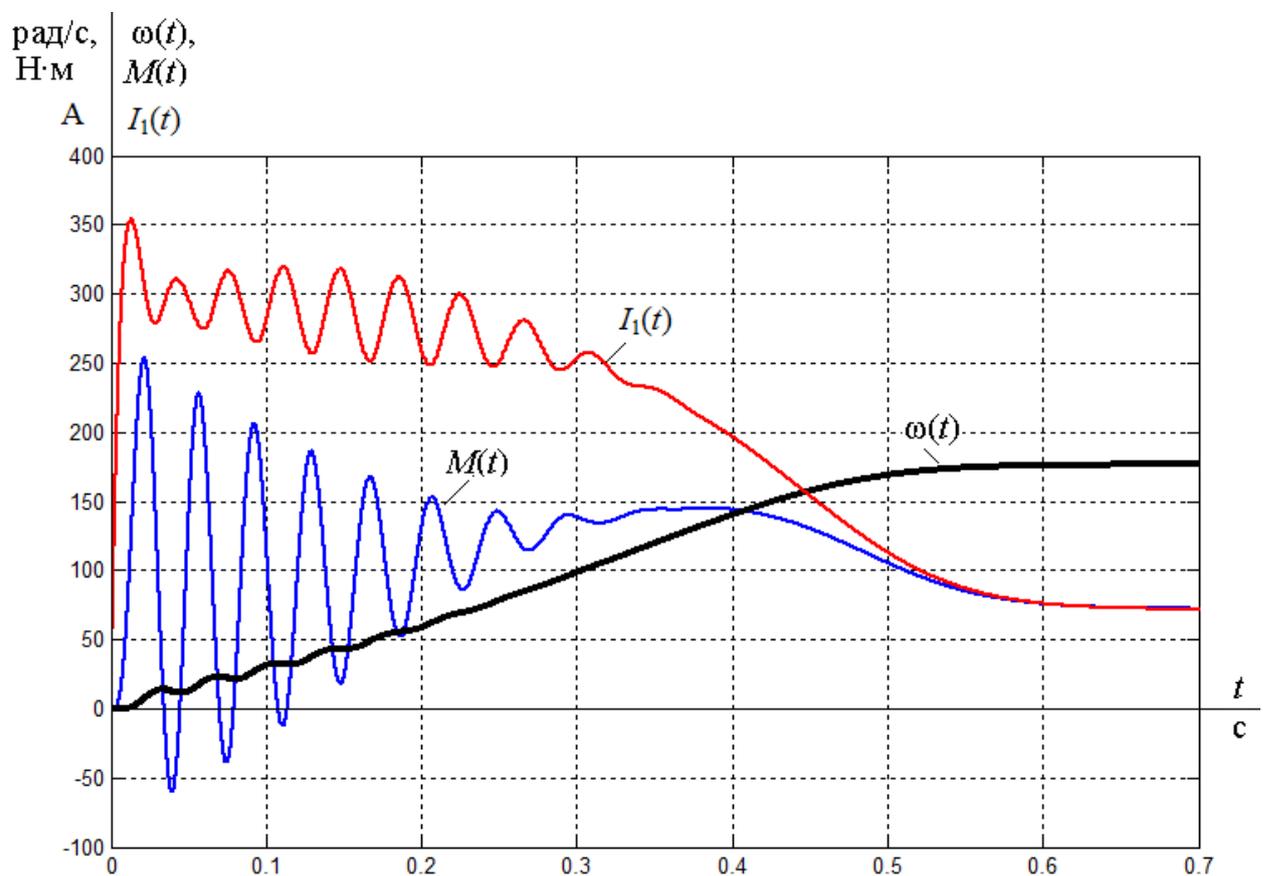


Рисунок 18 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости  $U/f^2=\text{const}$  при значении частоты  $f=30$  Гц

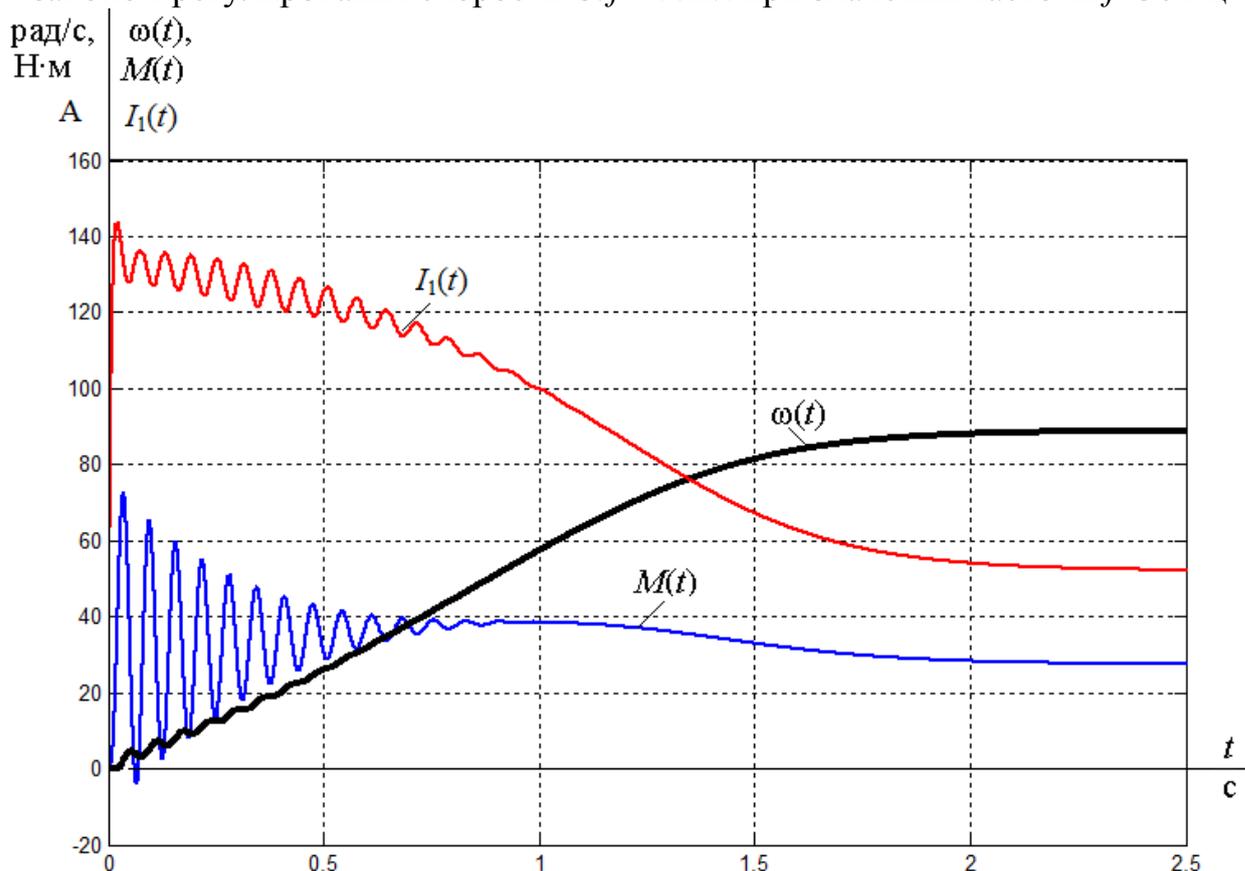


Рисунок 19 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости  $U/f^2=\text{const}$  при значении частоты  $f=17$  Гц

Прямой пуск электродвигателя в системе преобразователь частоты-асинхронный двигатель с любым законом регулирования  $U_1/f_1$  характеризуется значительными колебаниями электромагнитного момента двигателя и большими значениями пускового момента и тока статора. Такие перегрузки по току и моменту с одной стороны могут быть недопустимы для отдельных элементов привода (например, по току для преобразователя), а с другой стороны в любом случае неблагоприятно скажутся на электродвигателе, преобразователе и механизме насоса и приведут к сокращению срока их службы. Фактические перегрузки при прямом пуске двигателя могут быть еще больше из-за неточности принятой в расчетах модели асинхронного двигателя и её параметров в области работы с большими значениями скольжения двигателя.

Полученные результаты прямого пуска электродвигателя показывают, что прямой пуск приводного двигателя не позволит получить удовлетворительного качества переходные процессы и определяют необходимость организации плавного пуска с ограничением величины и улучшением характера временной зависимости динамического момента и тока электропривода.

Ограничение тока и момента двигателя в пусковых режимах в разомкнутых системах регулируемого электропривода может быть достигнуто применением задатчика интенсивности скорости во входной цепи управления электропривода.

Схема набора имитационной модели асинхронного частотно-регулируемого электропривода со скалярным управлением приведена на рисунке 21.

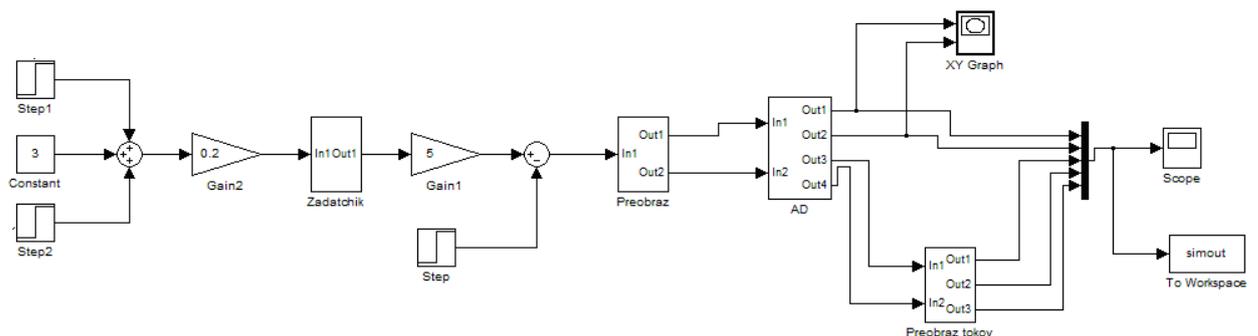


Рисунок 21 - Схема набора имитационной модели асинхронного электропривода со скалярным управлением

Схема набора имитационной модели задатчика интенсивности с  $S$ -образной характеристикой представлена на рисунке 22. Принята  $S$ -образная характеристика задатчика  $U_{\text{зад}}(t)$  с параметрами (рисунок 23):  $t_1 = 0.5 \text{ с}, t_2 = 1 \text{ с}, T_{\text{зи}} = 2 \cdot t_1 + t_2 = 2 \cdot 0.5 + 1 = 2 \text{ с}$ .

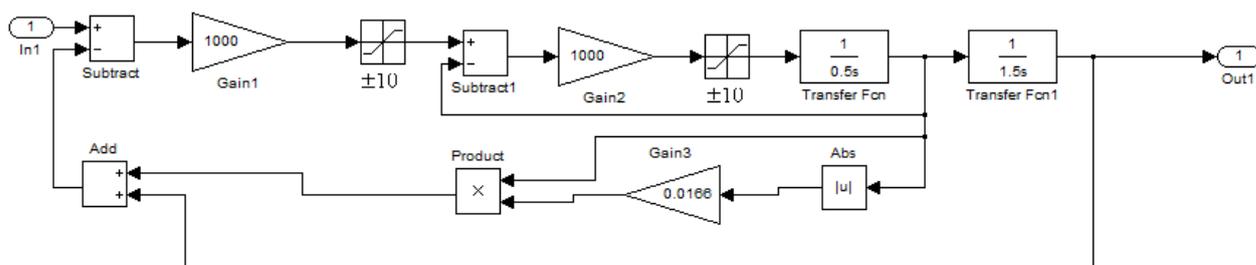


Рисунок 22 - Схема набора имитационной модели задатчика интенсивности с s-образной характеристикой (подсистема «Zadatchik»)

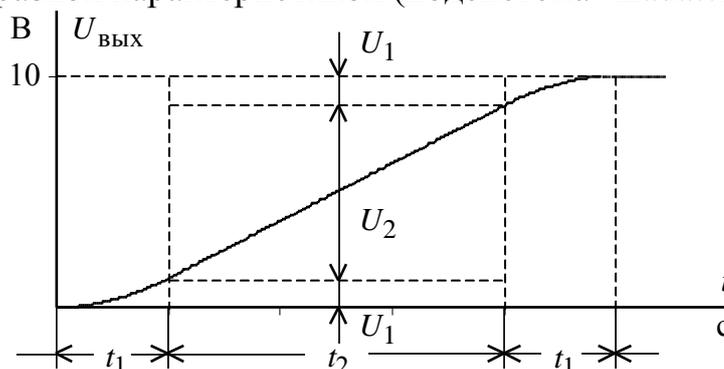


Рисунок 23 - Временная характеристика s-образного задатчика интенсивности

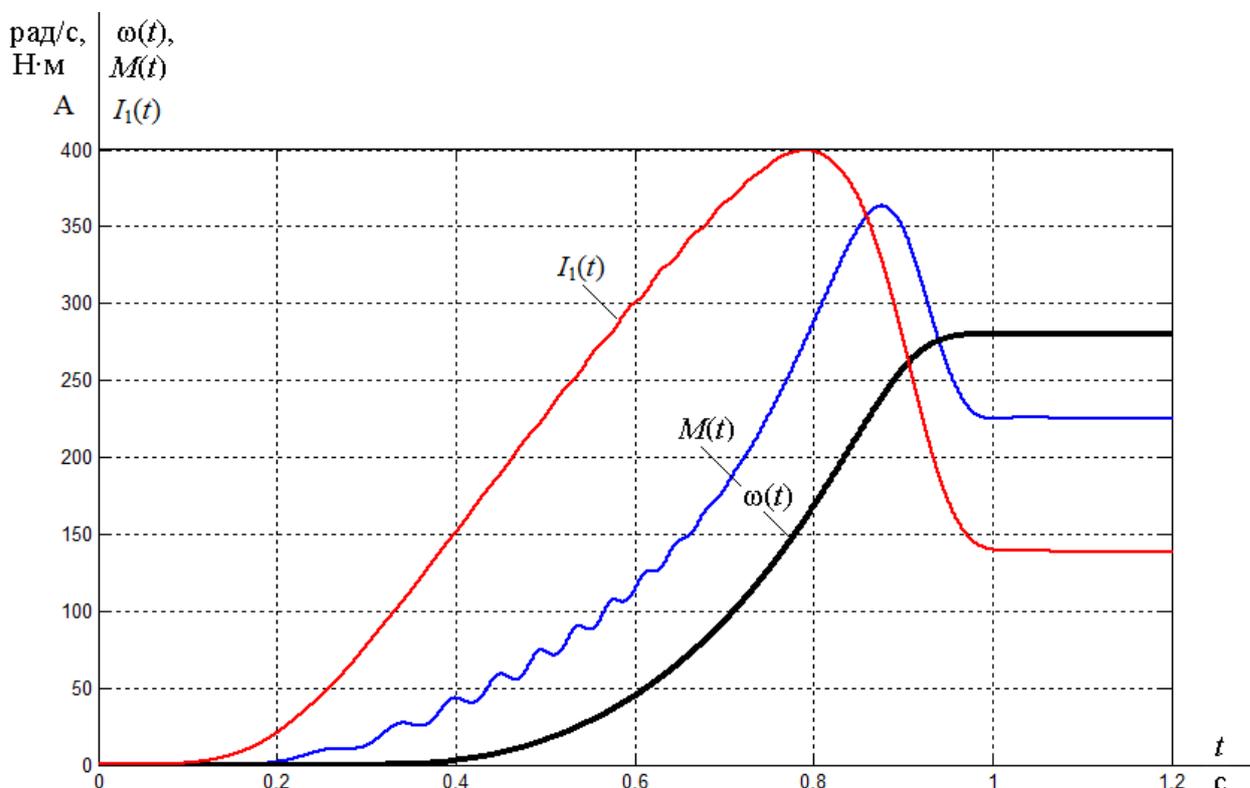


Рисунок 24 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости и задатчиком интенсивности при значении частоты  $f=50$  Гц и временем запуска 1 секунда

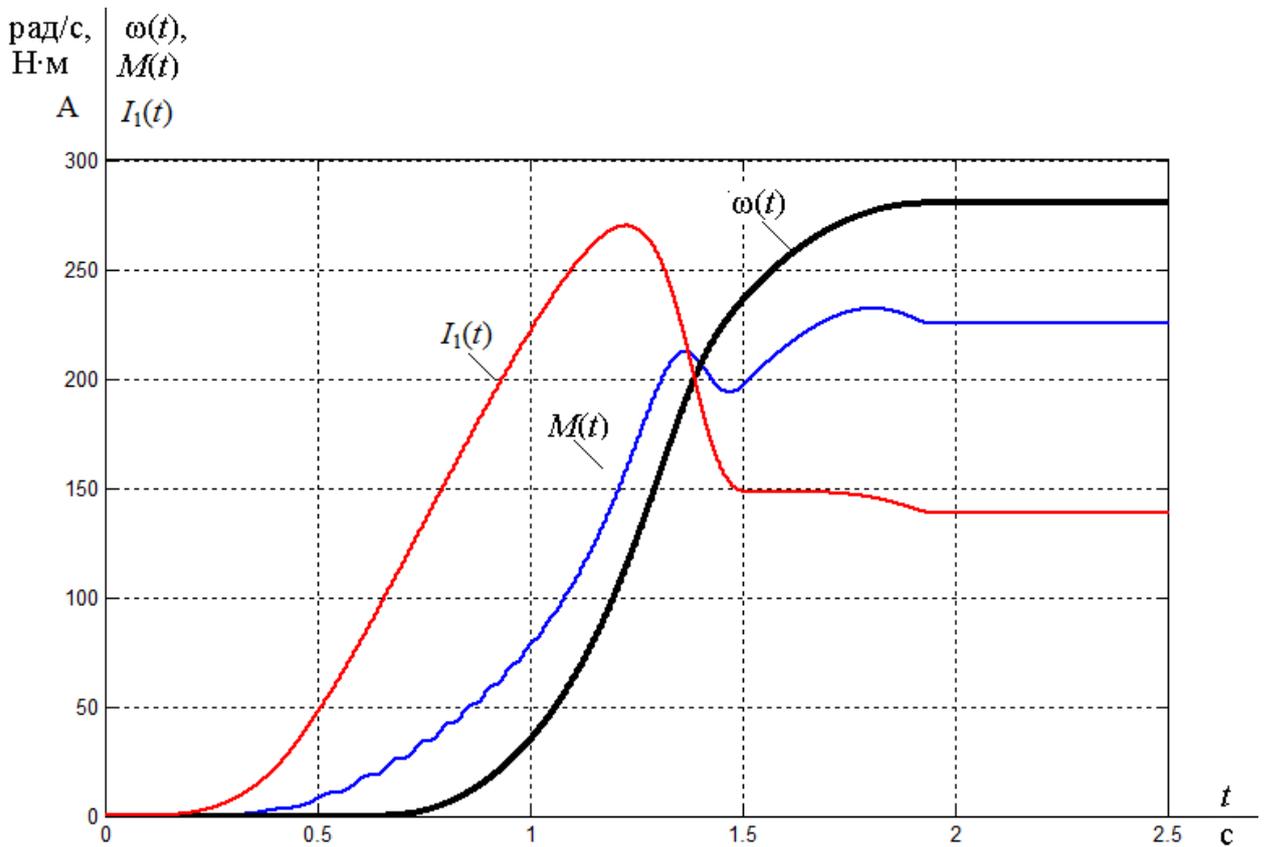


Рисунок 25 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости и задатчиком интенсивности при значении частоты  $f=50$  Гц и временем запуска 2 секунды

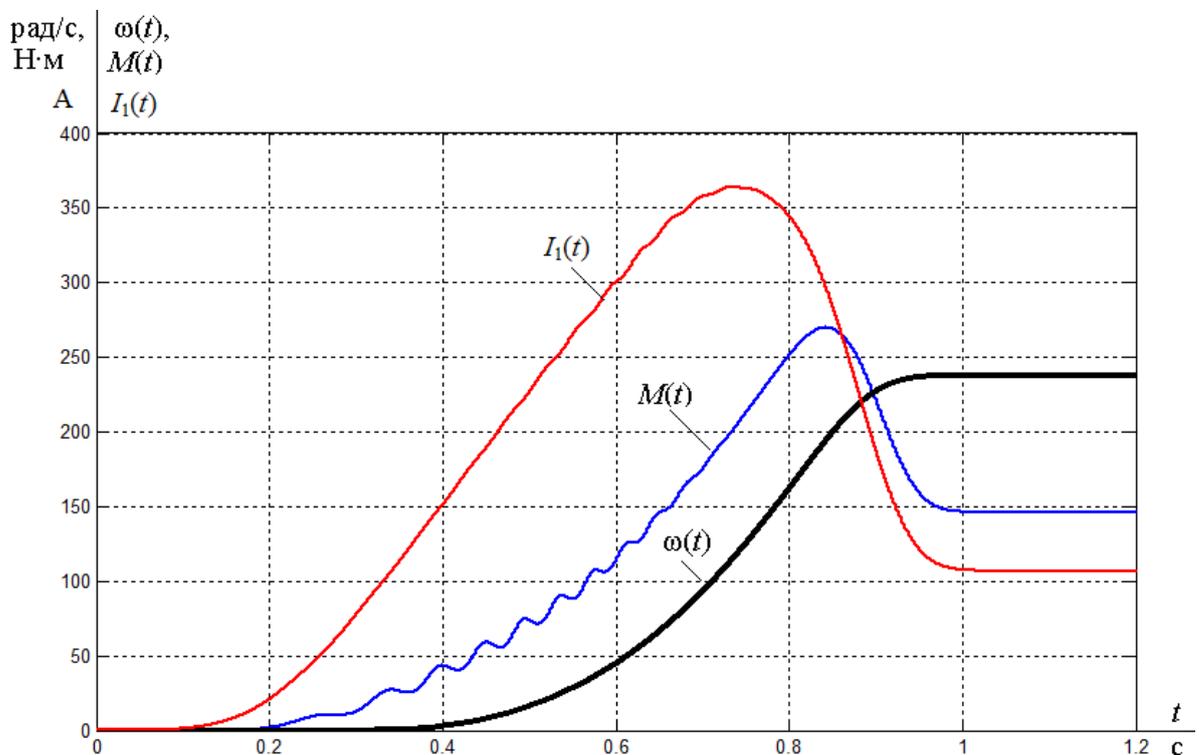


Рисунок 26 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости и задатчиком интенсивности при значении частоты  $f=40$  Гц и временем запуска 1 секунда

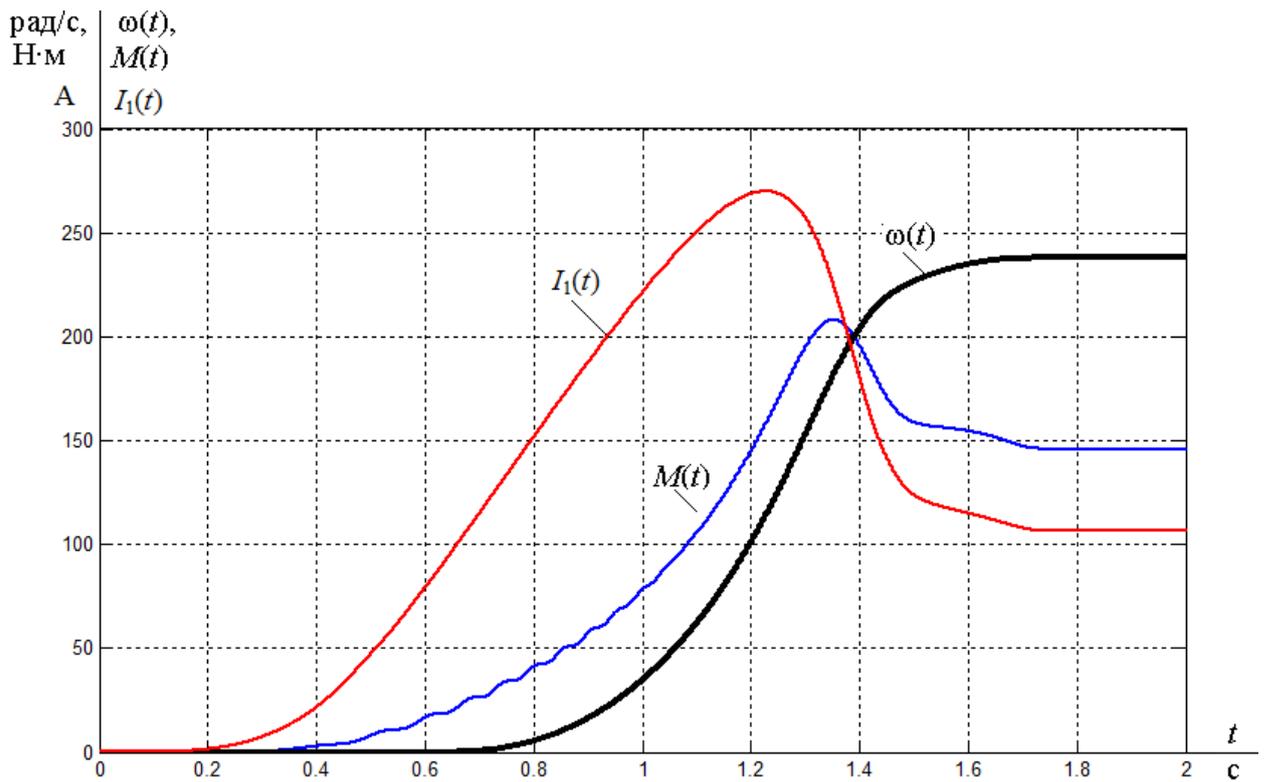


Рисунок 27 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости и задатчиком интенсивности при значении частоты  $f=40$  Гц и временем запуска 2 секунды

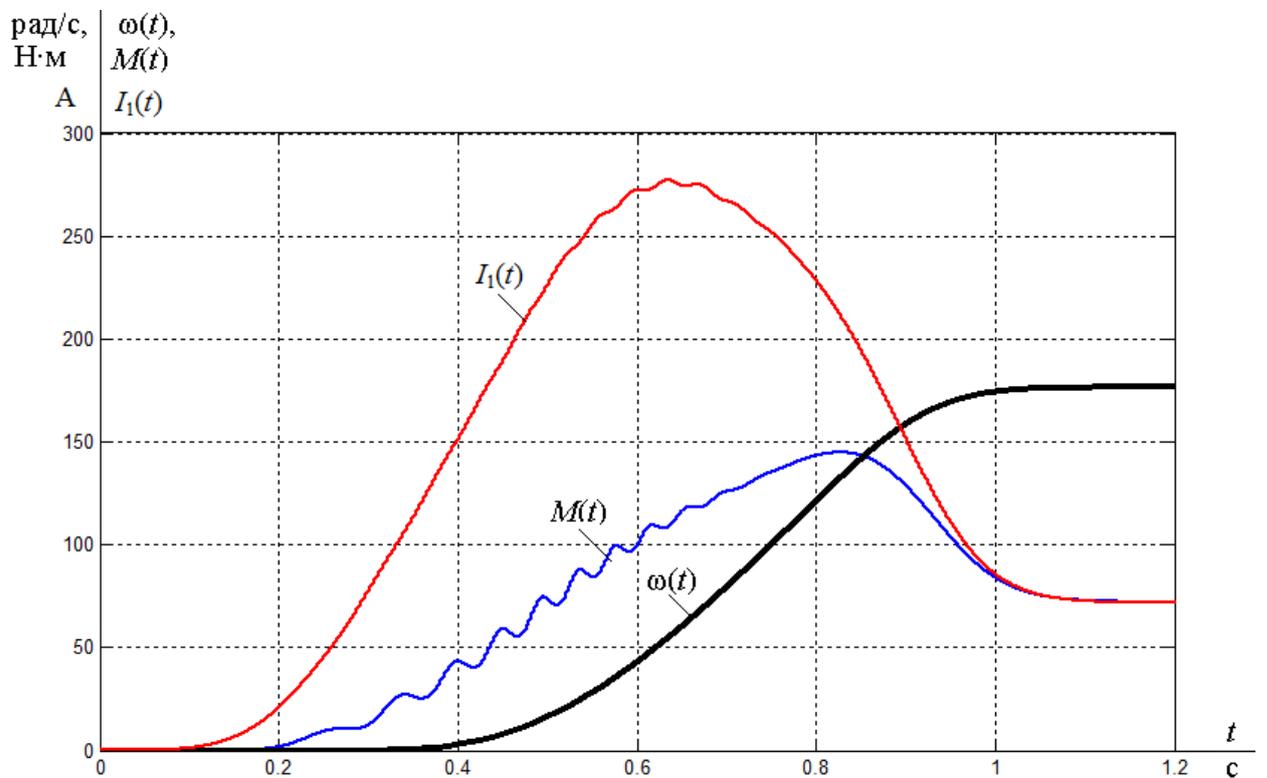


Рисунок 28 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости и задатчиком интенсивности при значении частоты  $f=30$  Гц и временем запуска 1 секунда

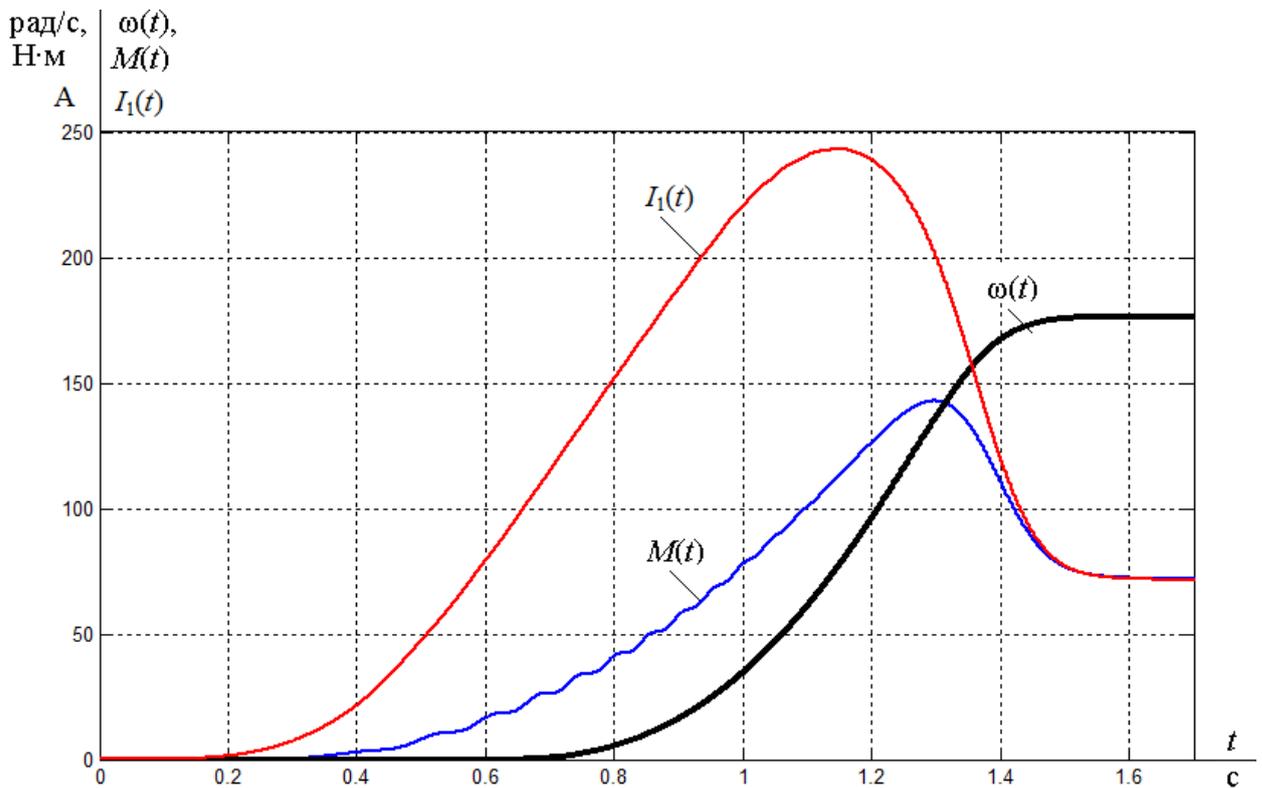


Рисунок 29 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости и задатчиком интенсивности при значении частоты  $f=30$  Гц и временем запуска 2 секунды

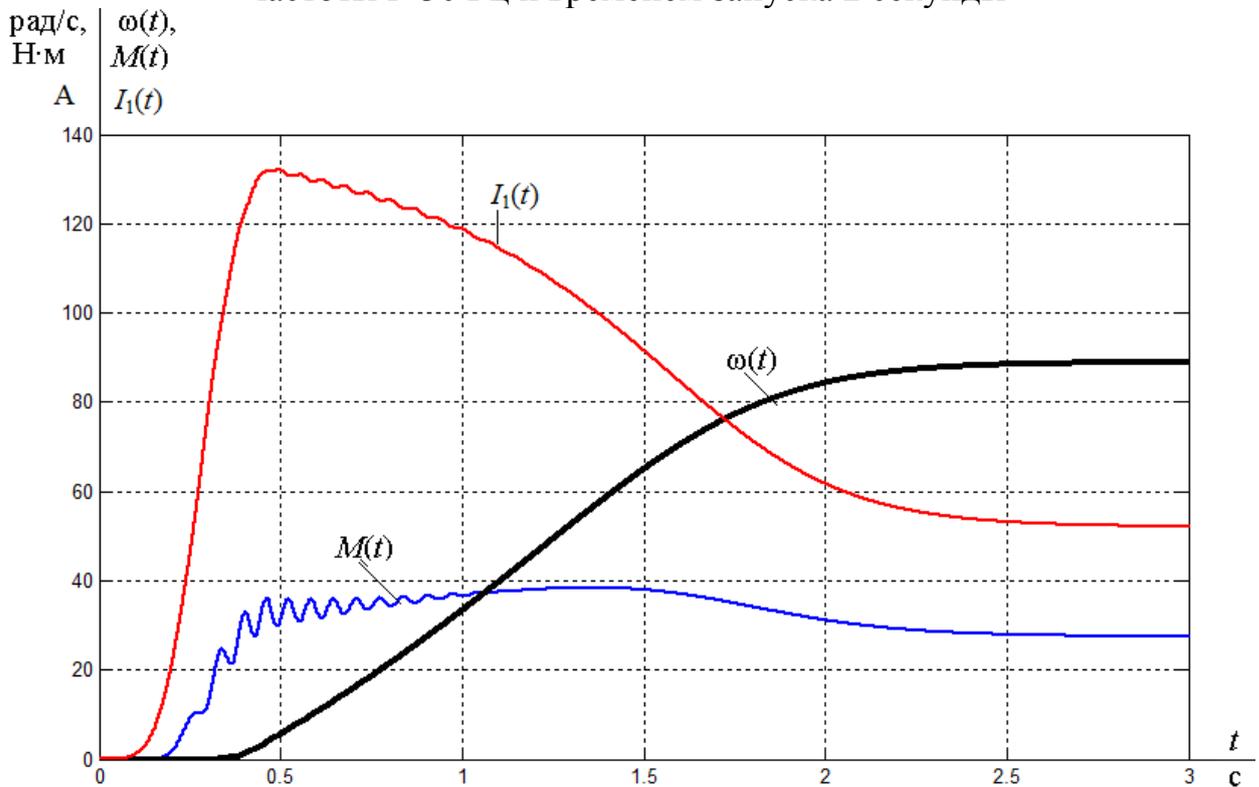


Рисунок 30 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости и задатчиком интенсивности при значении частоты  $f=17$  Гц и временем запуска 1 секунда

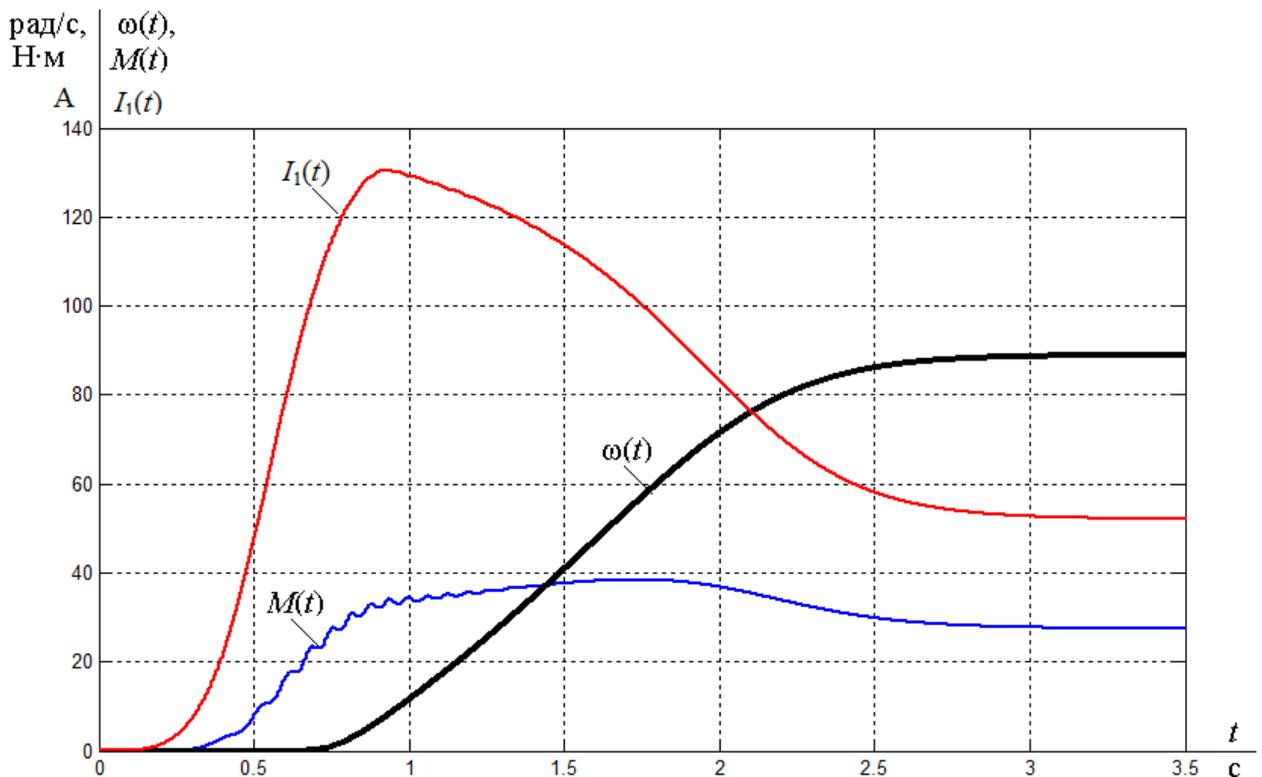


Рисунок 31 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости и задатчиком интенсивности при значении частоты  $f=17$  Гц и временем запуска 2 секунды

Полученные результаты имитационных исследований доказывают, что частотно-регулируемый асинхронный электропривод при скалярном управлении с частотным законом управления и задатчиком интенсивности на входе обеспечивает плавность нарастания скорости, уменьшение пусковых токов и моментов. Благодаря задатчику интенсивности и времени запуска электродвигателя в 2 секунды, мы смогли добиться допустимых пусковых токов 300 А для нашей заданной сети, ограниченной мощности.

## **8. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Теплоснабжение промышленных объектов и народного хозяйства населения является одной из основных подсистем энергетики страны. Эта отрасль с повышенной энергоемкостью. В связи с этим, внедрение новейших энергосберегающих технологий при модернизации насосных станций становится крайне актуальной задачей.

Целью данного раздела является обоснование целесообразного использования технического проекта, выполняемого в рамках магистерской диссертации, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

### **8.1 Планирование научно-исследовательской работы**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники, преподаватели, инженеры, техники и 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.

Таблица 5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| № раб.       | Основные этапы   | Содержание работ   | Должность исполнителя         | Продолжительность, дней |
|--------------|--|--|-------------------------------|-------------------------|
| 1            | Разработка и выдача технического задания                           | Составление и утверждение технического задания           | Научный руководитель, инженер | 2                       |
| 2            | Выбор направления технического проектирования насоса               | Подбор и изучение материалов по теме                     | Инженер                       | 13                      |
| 3            | Расчеты и проектирование системы электроснабжения насосной станции | Проектирование системы внутризаводского электроснабжения | Инженер                       | 15                      |
| 4            |  | Проектирование системы внутрицехового электроснабжения   | Инженер                       | 14                      |
| 5            |  | Проведение графических построений и обоснований          | Инженер                       | 14                      |
| 6            | Обобщение и оценка результатов                                     | Оценка эффективности полученных результатов              | Научный руководитель, инженер | 3                       |
| 7            | Оформление отчета по техническому проектированию                   | Составление пояснительной записки                        | Инженер                       | 14                      |
| 8            |  | Проверка выпускной квалификационной работы руководителем | Научный руководитель, инженер | 2                       |
| <b>ИТОГО</b> |  |  | Научный руководитель          | 7                       |
|              |  |  | Инженер                       | 77                      |

Продолжительность выполнения проекта составит 77 рабочих день. Из них:

7 дней – продолжительность выполнения работ руководителем;

77 день – продолжительность выполнения работ инженером.

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения технических работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [16].

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки магистерской диссертации. На основе таблицы 5 строим диаграмму Ганта (таблица 6).

Таблица 6 – Диаграмма Ганта

| № работ | Вид работ  | Исполнители           | Тк <sub>к</sub> , кол.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                             | Инженер               | 13                       | ■                                  | ■ |      |   |   |      |   |   |     |   |   |      |   |  |
| 3       | Проектирование системы внутризаводского электроснабжения | Инженер               | 15                       |                                    | ■ | ■    | ■ |   |      |   |   |     |   |   |      |   |  |
| 4       | Проектирование системы внутрицехового электроснабжения   | Инженер               | 14                       |                                    |   |      | ■ | ■ | ■    |   |   |     |   |   |      |   |  |
| 5       | Проведение графических построений и обоснований          | Инженер               | 14                       |                                    |   |      |   |   | ■    | ■ | ■ |     |   |   |      |   |  |
| 6       | Оценка эффективности полученных результатов              | Инженер, Руководитель | 3                        |                                    |   |      |   |   |      |   | ■ | ■   |   |   |      |   |  |
| 7       | Составление пояснительной записки                        | Инженер               | 14                       |                                    |   |      |   |   |      |   |   | ■   | ■ | ■ |      |   |  |
| 8       | Проверка ВКР   | Руководитель          | 2                        |                                    |   |      |   |   |      |   |   |     |   |   |      | ■ |  |

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 6,5 декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая третьей декадой мая. 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).

## 8.2 Смета затрат на проектирование

Смета затрат на проект ( $K_{III}$ ) включает в себя материальные затраты, амортизацию, затраты на заработную плату, на социальные нужды, прочие и накладные затраты.

$$K_{III} = K_{mat} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{с.о} + K_{пр} + K_{накл}, \quad (6.1)$$

где:  $K_{mat}$  – материальные затраты;

$K_{ам}$  – амортизация компьютерной техники;

$K_{з/пл}$  – затраты на заработную плату;

$K_{с.о}$  – затраты на социальные нужды;

$K_{пр}$  – прочие затраты;

$K_{накл}$  – накладные затраты.

### 8.2.1 Материальные затраты

В данной работе материальные затраты принимаем в размере 1000 рублей на канцелярские товары.

### 8.2.2 Затраты на амортизацию

Так как для работы над магистерской диссертацией используется компьютерная техника, посчитаем амортизацию от ее использования.

$$K_{ам} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot Ц_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}}, \quad \text{где} \quad (6.2)$$

$T_{исп.кт}$  – время использования компьютерной техники (90 дней);

$T_{кал}$  – календарное время (365 дней);

$Ц_{кт}$  – цена компьютерной техники (25000 руб);

$T_{сл}$  – срок службы компьютерной техники (5 лет).

$$K_{ам} = \frac{90}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 1233 \text{ руб.}$$

### 8.2.3 Затраты на заработную плату

Вознаграждение за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, а также компенсационные и стимулирующие выплаты, затраты на заработную плату (для инженера и НР).

$$K_{з / пл} = З_{Пинж} + З_{Пнр} \quad (6.3)$$

$$З_{Пмес} = З_{По} \cdot K1 \cdot K2, \text{ где} \quad (6.4)$$

$K1$  – коэффициент, учитывающий отпуск ( $1,1 = 10\%$ );

$K2$  – районный коэффициент ( $1,3 = 30\%$ );

$З_{По}$  – месячный отклад (для профессора 30000 р., для инженера 17000р.).

Для научного руководителя:

$$З_{Пмес} = 30000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 42900 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{Пмес} = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб.}$$

$$З_{Пор} = \frac{З_{Пмес}}{21} \cdot n, \text{ где} \quad (6.5)$$

$21$  – число рабочих дней в месяц;

$n$  – фактическое число дней в проекте.

Для научного руководителя:

$$З_{Пор} = \frac{42900}{21} \cdot 7 = 14300 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{Пор} = \frac{24310}{21} \cdot 77 = 89137 \text{ руб.}$$

$$K_{з / пл} = 14300 + 89137 = 103437 \text{ руб.}$$

### 8.2.4 Затраты на социальные нужды

Затраты организации по обязательным и добровольным взносам в органы государственного страхования, пенсионного фонда, фонда медицинского страхования от затрат на оплату труда работников, занятых в производстве продукции, работ, услуг в непроизводственной сфере в соответствии с порядком, установленным законодательством.

Затраты на социальные нужды берем в размере 30% от  $Kз/пл$ .

$$K_{с.о.} = \frac{Kз / пл \cdot 30\%}{100\%}. \quad (6.6)$$

$$K_{с.о.} = \frac{103437 \cdot 0,3}{1} = 31031 \text{руб}$$

### 8.2.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаются в размере 10% от ( $K_{мат} + K_{ам} + Kз/пл + K_{с.о}$ )

$$K_{пр} = \frac{(K_{мат} + K_{ам} + Kз / пл + K_{с.о.}) \cdot 10\%}{100\%} \quad (6.7)$$

$$K_{пр} = \frac{(1000 + 1233 + 103437 + 31031) \cdot 0,1}{1} = 13670 \text{руб.}$$

### 8.2.6 Накладные затраты

Затраты, не связанные прямо с производством отдельного изделия или вида работы и относимые на весь выпуск продукции. К ним относятся: расходы на содержание, эксплуатацию и текущий ремонт зданий, сооружений и оборудования; отчисления на социальное страхование и другие обязательные платежи; содержание и заработную плату административно-управленческого персонала; расходы, связанные с потерями от брака и простоев и др.

Накладные расходы принимаются в размере 200% от  $Kз/пл$ .

$$K_{накл} = \frac{Kз / пл \cdot 200\%}{100\%}. \quad (6.8)$$

$$K_{накл} = \frac{103437 \cdot 2}{1} = 206874 \text{ руб}$$

Полученные результаты сведены в таблицу 15.

Таблица 7 – Смета затрат на проект

| № | Элементы затрат                  | Стоимость, руб. |
|---|----------------------------------|-----------------|
| 1 | Материальные затраты             | 1000            |
| 2 | Амортизация компьютерной техники | 1233            |
| 3 | Затраты на заработную плату      | 103437          |
| 4 | Затраты на социальные нужды      | 31031           |
| 5 | Прочие затраты                   | 13670           |
| 6 | Накладные расходы                | 206874          |
|   | Итого:                           | 357245          |

Смета затрат на проект:

$$K_{III} = 1000 + 1233 + 103437 + 31031 + 13670 + 206874 = 357245 \text{ руб.}$$

В результате разработки дипломного проекта регулируемого электропривода центробежного насоса по системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель произведен расчет параметров и выбор основных силовых элементов, расчет и проверка области существования электромеханических характеристик электропривода, построение характеристик таких как: электромеханические характеристики, регулировочные характеристики. Разработаны функциональная и принципиальная схемы регулируемого электропривода. Дано описание их работы. Также можно сделать вывод, что применение преобразователей частоты на насосных станциях позволяет:

- экономить электроэнергию, за счет организации работы электропривода в зависимости от реального потребления воды (эффект экономии 20-50%);

- уменьшить затраты на плановый и капитальный ремонт сооружений и оборудования (всей инфраструктуры подачи воды), в результате пресечения аварийных ситуаций, вызванных в частности гидравлическим ударом, который нередко происходит в случае использования нерегулируемого электропривода (ресурс службы оборудования повышается минимум в 1,5 раза);

- достичь определенной экономии тепла в системах горячего водоснабжения за счет снижения потерь воды, несущей тепло;

## **9. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

Целью разработки настоящего раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи и профессиональные заболевания в производстве, снижение вредных воздействий на окружающую среду, обеспечение безопасности в чрезвычайных ситуациях. Это соответствует требованиям международного стандарта ICCSR-26000:2011 к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения [17].

### **Введение**

Данный раздел посвящен вопросам обеспечения необходимых условий труда (санитарно-гигиенические условия, защита от негативных производственных факторов, обеспечение пожарной безопасности) в соответствии с действующими нормативными документами, а также вопросам экологической безопасности и обеспечения безопасности в ЧС.

В настоящей выпускной квалификационной работе ведется разработка системы автоматического регулирования уровня воды в резервуаре.

### **9.1 Описание и анализ опасных и вредных факторов**

При эксплуатации сооружений и сетей водопроводно-канализационного хозяйства необходимо учитывать наличие и возможность воздействия следующих вредных производственных факторов [17]:

- пониженной температуры воздуха в производственных помещениях и сооружениях;
- повышенной влажности воздуха и повышенной скорости его движения (в насосных станциях, в помещениях фильтров, отстойников и др.);

- повышенного уровня ультрафиолетового (бактерицидные установки) и инфракрасного (дегельминтизаторы) излучения;
- вредных факторов при работе на видеодисплейных терминалах и персональных электронно-вычислительных машинах;
- повышенного уровня шума и вибраций (в машинных залах насосных и воздуходувных станций и в других помещениях и сооружениях, где установлено технологическое оборудование);
- недостаточной освещенности рабочей зоны (в колодцах, камерах, каналах и т.п.);
- газообразных веществ общетоксического и другого вредного воздействия в колодцах, камерах, каналах, очистных сооружениях (сероводород, метан, пары бензина, эфира, углекислый газ, озон и др.);
- горючих примесей, попавших в сточные воды (бензин, нефть и др.), а также растворенных газообразных веществ, которые могут образовывать в канализационных сетях и сооружениях взрывопожароопасные и отравляющие смеси;
- повышенной запыленности воздуха в рабочей зоне пылеобразующими реагентами (сернокислый алюминий, хлорное железо, негашеная и хлорная известь, сода, едкий натр, активированный уголь, фторосодержащие реагенты и др.);
- паров ртути (при работе с приборами с ртутным наполнением);
- патогенных микроорганизмов в сточных и природных водах (бактерии, вирусы, простейшие);
- яиц гельминтов в сточных водах.

Опасные факторы:

- образования пожароопасных смесей газов (в колодцах, камерах на сетях, насосных станциях и в других помещениях и сооружениях), опасность загорания (пожара);
- опасность электропоражения работающего в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- движущихся элементов оборудования (насосного, силового, механизированных решеток, лебедок, скребков, оросителей, механических мешалок и других механизмов);
- отлетающих предметов (при дроблении в дробилках отбросов, снимаемых с решеток), отлетающих частей (при выбивании заглушек в испытываемых трубопроводах; при обработке и обкалывании бетонных труб и фасонных изделий и др.);
- падающих предметов и инструментов (при работах в водопроводных и канализационных колодцах, на очистных сооружениях и сетях, в помещениях и др.);

Ниже представлены результаты анализа ряда вредных факторов проектируемой производственной среды.

## **9.2 Производственная санитария**

### **9.2.1 Микроклимат**

Помещение насосного цеха характеризуется:

- повышенной влажностью;
- наличием большого количества металлического оборудования;
- скоростью движения воздуха;
- пониженной температурой.

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 8.

Таблица 8

| Сезон года                            | Категория работ | Температура, °С       |                    | Относительная влажность, % |                    | Скорость движения воздуха, м/с |                    |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|
|                                       |                 | По ГОСТ 12.1.005 – 88 | Фильтровальный зал | По ГОСТ 12.1.005 – 88      | Фильтровальный зал | По ГОСТ 12.1.005 – 88          | Фильтровальный зал |
| Холодный                              | Средней тяжести | 17 – 19               | 15 – 21            | 40 – 60                    | 70 – 30            | 0,3                            | 0,2                |
| Тёплый со значительным избытком тепла | Средней тяжести | 20 – 22               | 16 – 27            | 40 – 60                    | 60 – 30            | 0,2 – 0,5                      | 0,5                |

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1), следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по СНиП 2.04.05 – 91\* (28.11.91) установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1 [18];
- установка систем местных отсосов по СНиП 2.04.05 – 91\* для удаления вредных, пожароопасных и взрывоопасных веществ от мест их образования и выделения [18];
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией;
- герметизация технологического оборудования.

Предусмотренные мероприятия обеспечивают параметры микроклимата в соответствии с нормами, представленными в таблице 22.

В соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96 значения температуры, [19] относительной влажности и скорости движения воздуха устанавливаются, для рабочей зоны производственных помещений, в зависимости от категории

тяжести выполняемой работы, величины явного избытка тепла, выделяемого в помещении и периода года.

Необходимым условием для комфортного и безопасного пребывания людей в помещениях является регулирование температуры. Сюда можно отнести отопление и кондиционирование. Для этих целей используется несколько систем, которые позволяют обеспечить комфортный микроклимат в зданиях и в холодное, и в жаркое время года. Это организация вытяжек из вентиляционных каналов, отопительных и кондиционирующих устройств. Для комфортного пребывания людей в жилых домах и офисах необходима и очистка воды. Для удобства управления и мониторинга этих систем лучше, чтобы всё оборудование располагалось на одном щитке. В каждом городе есть различные предприятия и организации, которые предоставляют какую-нибудь из этих услуг. Есть компании, которые занимаются установкой кондиционеров, есть фирмы, реализующие оборудование для отопления. У всех разные цены и сроки выполнения работ.

### **9.2.2 Шум и вибрация**

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды [21]. Источниками звуков и шумов являются вибрирующие тела. Основные производственные процессы, сопровождающиеся шумом, — это работа технологического оборудования в машинных залах насосных, воздухоудвжных станций и в других помещениях водопроводно-канализационного хозяйства. Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При этом учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, ослабление внимания, замедление психических реакций, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности.

Источником производственного шума и вибрации являются насосы, вентиляторы, фильтры [22].

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются [19];

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты по ГОСТ 12.4.011 – 89;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 9.

Таблица 9

| Рабочее место    | Уровни звукового давления, дБ |    |     |     |     |      |      |      |      | По шкале |
|------------------|-------------------------------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|----------|
|                  | 31,5                          | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |          |
| Насосная станция | 107                           | 95 | 87  | 82  | 78  | 75   | 73   | 71   | 69   | 80       |
| Щит управления   | 96                            | 83 | 74  | 68  | 63  | 60   | 57   | 55   | 54   | 65       |

Технические нормы вибрации представлены в таблице 10.

Таблица 10

| Вид вибрации     | Среднеквадратичная частота, Гц        |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
|------------------|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
|                  | Логарифмический уровень виброскорости |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
|                  | 1                                     | 2   | 4   | 8   | 16  | 31,5 | 63  | 125 | 250 | 500 |
| Насосная станция | -                                     | 103 | 100 | 101 | 106 | 112  | 118 | -   | -   | -   |

### 9.3 Защита окружающей среды

Работа на участке системы автоматического регулирования уровня воды в водозаборном узле насосной станции сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов.

Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения - ЛОС (альдегиды, кетоны), азотистые соединения и др. органов дыхания человека; бытовая пыль; ЛОС, выделяющиеся в процессе эксплуатации отделочных материалов, лакокрасочных покрытий мебели и др. Перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения.

Жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях. При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014) [30]: мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах.

Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681 [31]. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки.

К сфере защиты ОС и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой энергии на территории предприятия. Экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов ТЭС и одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

#### **9.4 Предотвращение чрезвычайных ситуаций и устранение их последствий**

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации на насосной станции: возникновение пожара (загорания) и электропоражение. Об этом свидетельствуют результаты анализа опасных факторов “пожарная опасность” и “опасность электропоражения”, приведенные ниже.

##### **9.4.1 Пожар (загорание)**

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Согласно [26], [28], [32], к мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления), применение искробезопасного оборудования,

устройства молниезащиты здания, выполнения правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей, средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара, системы автоматической пожарной сигнализации, порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м<sup>3</sup>. [32]

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности, разработка схемы действия администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей, организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания работающий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

#### **9.4.2 Электропоражение**

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [33] п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение

ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: УЗО и защитное заземление и зануление [33] п.413.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья, т.е. пострадавшему должна быть обеспечена скорая медицинская помощь. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

Для предотвращения от поражения электрическим током при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением при пробое изоляции или в других случаях, необходимо рассчитать и установить защитное заземление.

Данные для расчёта заземления:

1. Заземление необходимо выполнить для установки, работающей под напряжением 380 В.

2. Для заземления используем трубы диаметром 4 мм и длиной 2,5 м и сталь полосовую 18x4 мм.

3. Заземлители расположены в ряд.

4. Характер грунта в месте установки заземления — глина. Заземлители установлены на глубину (от верхнего конца трубы) 17 см, а расстояние между трубами принимаем равной трём длинам заземлителей, т.е.  $a=2$  м.

Верхние концы соединены с помощью полосовой стали. Определим, что для данного случая по нормам допускается сопротивление не более 4 Ом. Удельное сопротивление глины составляет  $\rho_T = 0,6 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ .

Учитывая применение грунта зимой и просыхания его летом, определяем расчётные значения  $\rho_\varepsilon$  и  $\rho_n$  при использовании трубчатых заземлителей соединительной полосы и соединительной полосы:

$$\rho_\varepsilon = \rho_T \cdot \kappa_\varepsilon = 0,6 \cdot 10^4 \cdot 1,9 = 1,14 \cdot 10^4 \text{ (Ом} \cdot \text{см)},$$

где  $\kappa_\varepsilon = 1,9$  - коэффициент для вертикальных электродов;

$$\rho_n = \rho_T \cdot \kappa_n = 0,6 \cdot 10^4 \cdot 5 = 3 \cdot 10^4 \text{ (Ом} \cdot \text{см)},$$

где  $\kappa_n = 5$  - коэффициент для горизонтальных электродов.

Определим величину сопротивлений одной забитой в землю трубы по выражению:

$$R_\varepsilon = \frac{\rho_\varepsilon}{2 \cdot \pi \cdot l_m} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l_m}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot h_m + l_m}{4 \cdot h_m \cdot l_m} \right),$$

где  $h_m$  - глубина заземления,  $h_m = 750$  см;

$l_m$  - длина заземления,  $l_m = 250$  см;

$d$  - диаметр заземления,  $d = 0,4$  см.

$$R_\varepsilon = \frac{1,14 \cdot 10^4}{6,28 \cdot 250} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 250}{0,4} + 0,5 \cdot \ln \frac{750 + 250}{750 \cdot 250} \right) = 54,4 \text{ Ом.}$$

Определим число заземлителей:

$$n = \frac{R_\varepsilon}{z} = \frac{54,4}{6} = 9 \text{ шт.}$$

Учитывая, что трубы соединены заземлительной полосой, которая выполняет роль заземлителя, уменьшаем число труб до 6 штук. Определим длину соединительной полосы:

$$l_m = 1,05 \cdot a \cdot (n-1) = 1,05 \cdot 2 \cdot (6-1) = 10,5 \text{ м,}$$

где  $n$  - число заземлителей;

$a$  - расстояние между заземлителями.

Размер резервуара 5x5 м, длина соединительной полосы вписывается в его размер.

Результирующее сопротивление (полосы и трубы) с учётом коэффициента использования труб  $J_{\text{Э}}=0,85$  и полосы  $J_{\text{П}}=0,86$  определяется по формуле:

$$R_c = \frac{R_{\text{Э}} \cdot R_{\text{П}}}{R_{\text{Э}} \cdot J_{\text{П}} + R_{\text{П}} \cdot J_{\text{Э}} \cdot n} = \frac{54,4 \cdot 7,26}{54,4 \cdot 0,86 + 7,26 \cdot 0,85 \cdot 9} = 3,85 \text{ Ом.}$$

Данная величина удовлетворяет требованиям защитного заземления. Контроль заземления производится при приёме в эксплуатацию, а также периодически, в сроки, установленные правилами, при переконпоновке оборудования и ремонте заземлителей.

Схема расположения устройства защитного заземления по отношению к резервуару показана на рисунке 32.

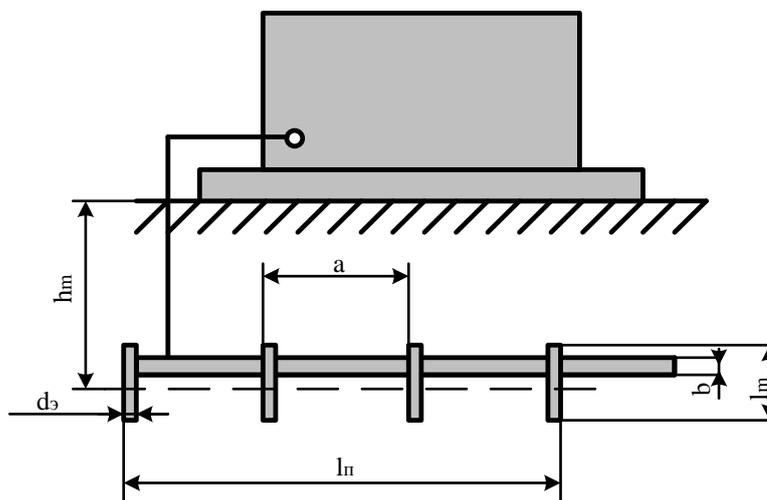


Рисунок 32 – Схема защитного заземления

В данном случае выполняем выносное заземление. Заземлители располагаются на некотором удалении от резервуара. Поэтому заземление корпуса находится вне поля растекания и человек, касаясь корпуса, оказывается под полным напряжением относительно земли. Выносное заземление защищает за счёт малого сопротивления заземлителей.

## 9.5 Социальные гарантии для работника

Социальные гарантии - это социально-экономические нормативы, гарантирующие населению признанный обществом уровень потребления, то

есть обеспечивающие минимальный стандарт уровня жизни в соответствии с возможностями экономики.

Система социальных гарантий должна удовлетворять следующим требованиям:

- необходимый и достаточный объем;
- обеспеченность финансовыми и материальными ресурсами;
- адресность;
- учет территориальных особенностей;
- механизм доведения до получателя.

Социальные гарантии могут быть общенациональными, региональными, отраслевыми, а источниками их финансирования — федеральный бюджет, бюджетная система субъекта Российской Федерации и внебюджетные фонды. Социальные гарантии обеспечиваются гражданам страны в соответствии с Конституцией.

В отношении трудоспособного населения социальные гарантии должны обеспечивать условия трудовой и деловой активности, защиту прав и свобод наемного работника, нанимателя.

Для основной части населения наемный труд является главным источником средств существования, поэтому система социальной защиты трудоспособного населения должна обеспечивать гарантии в сфере занятости и оплаты труда. Для этого государством устанавливается минимальная оплата труда. В большинстве стран устанавливается минимальная часовая зарплата.

Социальные гарантии в отношении нетрудоспособного населения должны создавать условия для его потребления, учитывая особенности каждой группы.

Поступления из системы социальной защиты делят на три группы:

- денежные выплаты (пенсии, пособия);

льготы, проявляющиеся в праве на снижение налогов, получение трансфертов в натуральной форме;

социальные услуги, потребляемые бесплатно или по ценам, не имеющим экономического значения.

Социальные гарантии выполняют различные функции:

алиментарно-компенсационную, которая обеспечивает поддержание потребления на определенном уровне;

защитную, которая обеспечивает сохранение условий труда и проживания;

стимулирующую, которая стимулирует получателя на рост трудовой и деловой активности.

## Заключение

В данной выпускной квалификационной работе стояла задача разработать асинхронный электропривод скважинного насоса, с ограничением по пусковому току. В ходе чего был спроектирован регулируемый электропривод погружного насоса по системе ПЧ-АД с задатчиком интенсивности. Произведен выбор двигателя, насоса, преобразователя частоты.

Получены графики механической и электромеханической характеристик, а также графики механической и электромеханической характеристик при различных частотах закона регулирования  $\frac{U_{1H}}{f^2}$ .

Разработана имитационная модель в среде MatLab, отражающая процессы регулирования запуска электродвигателя. Получены графики переходных процессов при прямом пуске двигателя и при частотном регулировании. Также была разработана схема набора имитационной модели асинхронного электропривода со скалярным управлением и добавлением задатчика интенсивности. Что позволило нам добиться поставленных задач при продолжительности запуска двигателя 2 секунд.

В экономической части выпускной квалификационной работы рассмотрены вопросы планирования затрат на технический проект и доказана экономическая целесообразность от внедрения спроектированного электропривода.

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

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. URL: [http://prommaterials.narod.ru/new\\_stat/konstrukcija-nasosa-ecv.htm](http://prommaterials.narod.ru/new_stat/konstrukcija-nasosa-ecv.htm) (дата обращения: 20.02.2015)
2. Паспорт гарантийный разведочно-эксплуатационной скважины № Т-01668/3 – Востокбурвод. Новосибирск, 1971. – 11с.
3. URL: <http://msv-nasko.ru/msv/catalogue/item/ecv/ecv6-65-125.html> (дата обращения: 20.02.2015)
5. Преобразователь частоты для нагрузки насосного типа. Руководство по эксплуатации Danfoss. – 2014. – 97 с.
6. Медведев Г.Г., Дорохов А.Р. Введение в курс Насосы, вентиляторы, компрессоры. – Конспект лекций. Томск: Изд. ТПУ, 1998. – 64 с.
7. Ключев В. И., Терехов В. М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с., ил.
8. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 1. – Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. – Оптимизация контура регулирования: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 144 с.
9. Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Расчёт характеристик электроприводов переменного тока. Ч.1. Асинхронный двигатель: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 136 с.
10. Булгаков А. А. Частотное управление асинхронными электродвигателями. – М.: Наука, 1966. – 300 с.
11. Насосы. Вентиляторы. Кондиционеры: Справочник/Е.М. Росляков, Н.В. Коченков, И.В. Золотухин др., Под редакцией Е.М. Росляков – СПб.: Политехника, 2006. – 822с.
12. В.И. Ключев «Теория электропривода», М: Энергоиздат, 1998.
13. Каталог продукции ОАО «Сибэлектромотор», 2010.

14. М.Г. Чиликин, М.М. Соколов, В. М. Терехов, А.В. Шинянский Основы автоматизированного электропривода. Учеб. Пособие для вузов. М., «Энергия», 1974. – 568 с.
15. Онищенко Г.Б., Юньков М.Г. Электропривод турбомеханизмов. М., «Энергия», 1972. – 240 с.
16. Майсак О. С. SWOT-анализ: объект, факторы, стратегии. Проблема поиска связей между факторами // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. — 2013. — № 1 (21). — С. 151—157
17. ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). “Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.”
18. ГОСТ 12.1.005-88 “Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.”
19. СНиП 23-05-95\* “Строительные нормы и правила РФ. Естественное и искусственное освещение.”
20. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 “Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.”
21. ГОСТ 12.1.003-83 “Шум. Общие требования безопасности.”
22. ГОСТ 12.1.012-90 “Вибрационная безопасность. Общие требования.”
23. СанПиН 2.2.4.1191-03 “Электромагнитные поля в производственных условиях.”
24. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 “Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы.”
25. Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.
26. №123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” от 22.07.2008 (с изменениями и дополнениями).
27. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.

28. СП 5.13130.2009 “Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.”
29. СП 9.13130.2009 “Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации.”
30. Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009, №1116 (с изменениями от 24.12.2014) “Об организации сбора, вывоза, утилизации и переработки бытовых и промышленных отходов на территории муниципального образования "Город Томск".”
31. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 “Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств.”
32. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т “Пожарная безопасность. Общие требования.”
33. ГОСТ Р 50571.3-94 “Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защиты от поражения электрическим током.”

## Приложение А

### Раздел 10.1 Electric drive of downhole pump

Студент:

| Группа | ФИО         | Подпись | Дата |
|--------|-------------|---------|------|
| 5ГМ5А  | Ломаев А.С. |         |      |

Консультант кафедры ЭПЭО

| Должность    | ФИО            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|--------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Зав.кафедрой | Дементьев Ю.Н. | К.т.н                     |         |      |

Консультант – лингвист кафедры иностранных языков ИЯ:

| Должность | ФИО          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Пташкин А.С. | К.ф.н                     |         |      |

## **1 Introduction**

Downhole pumps (also known as bore pumps, well pumps or bore water pumps) are a type of submersible pumps that are used to control water and liquid supply in various mining, farming, deep wells, rain water reticulation and petroleum capture applications. Most borehole pumps are designed for borehole and submersible pressure systems, varying with the hole depth and operating flow rate required. Popular multistage bore pumps can be powered by Vasco variable speed drive controllers to sustain their set pressure and operate only when needed, saving energy and extending the life of the pump.

### **Pump components**

There are seven major components for downhole rod pumps: standing and traveling valves, plunger, barrel, seating assembly, pull tube or valve rod (for insert pump), and the fittings that hold the assembled pump together. The most common of these components and the final types of assembled pumps are covered by American Petroleum Institute (API) Specification 11AX.

### ***1.1 Types of pumps***

API recognizes two main types of pumps: rod and tubing. Rod pumps are also called insert pumps because they are run (inserted) in the production tubing. Tubing pumps are so named because the working barrel of this pump is coupled with the production-tubing string.

There is a wide range of plunger (or pump-bore) sizes standardized by the industry. The API pump-bore sizes that are currently available range from 1 1/16 to 3 3/4 in. in diameter. This 1 1/16-in. size has been added back in the latest edition of the standard. Additionally, a new barrel type has been accepted in the latest API Spec. 11AX. This is the "X-type" barrel. It has a thin-walled barrel configuration for threads on either end of the heavy-walled barrel and is available for metal plungers only. This type of pump does not require the extension couplings

normally needed for heavy-walled barrel pumps. Thus, this pump reduces the burst or collapse concerns of the thin-walled extension couplings and allows deeper producing depths to be attained.

### ***2.1 API pumps and nomenclature***

While there are only two main types of pumps standardized by API, there are four different types of rod pumps. These are classified by the type of barrel (standing or traveling) and where the pump is anchored (top or bottom). API *Spec. IIAX*. shows the letter designations for the various types of rod and tubing pumps that are available for different barrel thicknesses and either metal or soft-packed plungers.

The complete pump designation of an API pump adds dimensional diameters and lengths to the letter designations. This has been modified in the latest revision to incorporate all approved sizes and barrel types along with separating the extensions into the top and bottom lengths, if required. The complete API designation includes the following:

- Nominal tubing size (from 1.9- to 4.5-in. OD) - represented with 2 digits
- Basic bore diameter (from 1.0625 to 3.75 in.) - represented with 3 digits
- Type of pump (rod or tubing) - R or T to indicate type
- Type of barrel (heavy, thin, or X type) - single alpha character to represent the barrel type
- Seating-assembly location (top or bottom) - A (for top), B (for bottom), or T (for bottom, traveling barrel)
- Type of seating assembly (cup or mechanical) - C or M to indicate type
- Barrel length (ft) - single digit length
- Nominal plunger length (ft.) - single digit length
- Length (in.) of upper extension (if required)- single digit length
- Length (in.) of lower extension (if required)- single digit length

API Spec. 11AX. shows that, for example, a 1¼-in. bore-rod-type pump with a 10-ft heavy-walled barrel, a 2-ft upper extension, a 2-ft lower extension, a 4-ft plunger, and a bottom-cup-type seating assembly that will be used in 2 3/8-in. tubing would be designated as 20-125-RHBC-10-4-2-2.

It is important to know that the users of API pumps need to provide, along with the pump nomenclature, the following ordering information: barrel and plunger material, plunger clearance (or fit tolerance), and valve (ball and seat) and fittings material. The materials normally available for each of these components also are now included in the latest edition of API Spec. 11AX.

### **2.3 Non-API and specialty pumps**

The types of pumps, sizes, and component materials that are included in the API standards are based on the best industry practices that meet widespread industry needs. While API standardizes the majority of pumps and components that are used in sucker-rod lift, there are special parts and pumps that have been developed by manufacturers to try to solve specific pumping problems. This specialty equipment should be considered when best industry practices and standardized components have proved unacceptable. However, the manufacturer of these components should create all parts to the same quality level required in API Spec. 11AX. Useful specialty pumps include the following:

- Casing pump for production without tubing
- Pumps with two plungers that act in series to increase displacement
- High-compression plunger assembly or pump for handling gas-interference problems
- Three-tube pump for handling fines or solids
- Pumps with a shorter barrel than normally recommended, so that the plunger completely wipes solids free of the barrel and prevents sticking.

Additionally, there are special pump components, such as valve rods, valves, and tubing drains, that are sometimes beneficial in situations in which the

capabilities of normal API pumps and components have been exceeded. The manufacturer of special, non-API pumps and components should be contacted to determine the working capabilities and limitations of any of these specialty components. However, these items should be selected with care and used only after the best production effort has been thoroughly tested with standard components.

## **2.4 Materials selection**

API Spec. 11AX was modified to add not only new sizes and types of pumps with new quality, inspection, and tolerance requirements, but also standardized, widely used pump-component materials. Various material descriptions, their API identification symbol, surface condition, base core hardness, base material, and base-material minimum yield strength for plated barrels, are shown in Table A of Spec. 11AX. Similar tables in Spec. 11AX (B through I) are incorporated for case-hardened barrels, nonhardened barrels, balls and seats, cages, pull tubes, valve rods, fittings, seating cups, spray-metal plungers, and plated plungers. These changes have incorporated the prior information in API RP 11AR and the NACE International MR 01-76 for materials to be used in most production environments.

## **2.5 Allowable setting depth**

In the early 1990s, an industry task group analyzed the stresses that react on a downhole rod pump. This was required to determine if there were recommended allowable loads that could be subjected to rod pumps of different types, sizes, and metallurgy. This group developed the burst, collapse, and axial-loading equations to determine these limits and the associated maximum recommended setting depth for sucker-rod lift pumps, published in API RP 11AR. The depth limitation and stresses on the downhole pump barrel and components should be considered when selecting the size, type, and metallurgy for a downhole pump.

## 2.6 Slippage past plungers

The slippage or leakage past a plunger on a closely fitted sucker-rod pump is an important factor in properly designing and operating a well. Slippage or leakage can be calculated using the following equation, adapted from the 1987 edition of the Petroleum Engineering Handbook.

$$Q = (1,540,000 \times D \times p \times L_p \times C^3) / (\mu^*), \dots\dots\dots(1)$$

in which Q = slippage or leakage loss, in.3/min; D = plunger diameter, in.; P = differential pressure across plunger, psi; C = diametrical clearance between plunger and barrel, in.;  $\mu$  = absolute viscosity of fluid, cp; and  $L_p$  = plunger length, in.

Tight clearances (less than 0.003 in.) may cause producing problems, whereas loose clearances (greater than 0.008 in.) may result in excessive leakage by the pump. Good field-pump records are essential to make good pump recommendations.

Slippage in sucker-rod pumps takes two forms: static and dynamic slippage.

- Static slippage is the dominant factor and occurs only during the upstroke of the pump; it is caused by the pressure differential across the plunger-barrel fit. The high hydrostatic pressure present in the tubing string, acting on top of the plunger with the traveling valve closed, forces liquid to slip past the plunger into the pump chamber between the traveling and the standing valves.

- Dynamic slippage, on the other hand, takes place both on the up-, and the downstroke of the pump and is caused by the plunger's movement; its magnitude being proportional to the plunger velocity i.e. the pumping speed used. The direction of liquid slippage is different for the up-, and downstroke: during upstroke liquid falls below the traveling valve while during the downstroke liquid flows upwards and decreases the amount of liquid passing through the traveling valve. An extensive series of theoretical and experimental investigations on pump slippage resulted in the following main conclusions.

- Early formulas greatly overestimate the amount of liquid slippage. Typical values, based on experimental data are about two times greater for plunger fits less than 0.006” and more than three times greater for fits larger than 0.006”. This implies that pumps with fits larger than those selected on the basis of earlier predictions can be used without experiencing too high pump leakages.

- The eccentricity of the plunger’s lateral position in the barrel has a great effect on liquid slippage also proved by, a fact that most previous formulas disregarded. For a completely eccentric position leakage rates 2.5 times greater than for concentric cases can be expected.

- Most previous correlations disregarded the effect of dynamic leakage in the pump.

## **2.7 Compression ratio**

Increasing the "compression ratio" of a plunger pump may reduce the effects of free gas and help prevent gas locking. The compression ratio is the volume of the pump chamber at the start of the downstroke divided by the volume at the end of the stroke. This ratio is fixed by the manufacturer on the basis of the design of the rod pump's components and the fit of the plunger to the pump barrel. Varying the sucker-rod pump components and close spacing will alter the compression ratio; however, some of these components are not standardized by the API Spec. 11AX. This can increase waste space in the pump, resulting in a decreased compression ratio. The importance of the compression ratio and associated waste space may prevent a new pump from being able to pump down a well. This work by McCafferty is further discussed in Hein , which also presents different pump manufacturers' normal compression ratios for similar pump types.

### **Selection of subsurface rod pumps**

Pumps for sucker-rod lifted wells numerous variables that are provided by the well, the operating conditions, and the life of the pump. The main variables to consider are as follows:

- Well depth
- Bottomhole temperature
- Fluid viscosity
- Amount and size of particulates in the produced fluids
- Produced-fluids corrosivity
- Required production rate vs. pump capacity
- Fluid-specific gravity
- Casing/tubing size
- Well-completion type
- Gas/liquid ratio (GLR)
- Pump-intake pressure vs. fluid bubblepoint
- Spare/surplus pumps and components
- New purchase and repair costs

These variables influence:

- Stresses on the pump
- Type of pump used
- Component metallurgy
- Pump size
- Internal-fit tolerance
- Ability to handle solids/gas

Discussing these parameters with the pump manufacturer and local pump shop should help determine the proper pump to ensure acceptable pump life.

#### Pump sizing

There are two aspects to consider when sizing the downhole pump for an installation. The first is that the pump capacity should be related to the well capacity. The pump displacement is determined on the basis of the pumping speed, unit stroke length, and plunger diameter. This general equation is

$$P_D = 0.1166 \times S \times N \times D^2, \dots\dots\dots(2)$$

in which PD = pump displacement, BFPD; 0.1166 = a volumetric conversion; S = stroke length, in.; N = pumping speed, spm; and D = diameter of the pump plunger, in.

The stroke length should be the expected downhole stroke or plunger stroke (Sp) that is calculated from a sucker-rod string calculation or sizing computer program. However, the surface stroke length may be considered an approximation of the maximum capacity for a given pumping situation.

The recommended relationship of pump displacement to well capacity (WC), as discussed in Hein, is as follows:

$$(WC/0.85) \leq P_D \leq (WC/0.65) \dots\dots\dots(3)$$

Thus, for a well that produces 100 BFPD, the various pumping parameters should be selected to provide a pump displacement of between 118 and 154 BFPD. Because the pump displacement is greater than the well capacity, the system will require some type of well control to prevent constant operation and overpumping of the well. This increased capacity accommodates pump wear and loss of efficiency with time. As this occurs, system control should be adjusted to continue producing as required, without overpumping by running the pump more often. It should be considered that as the pump diameter increases, the efficiency of the system increases. However, this also increases the load on the rod string and the peak torque for the pumping unit. Thus, reasonable selection of these pumping parameters should be considered that results in extended run time.

The second aspect of pump sizing, once the pump diameter is selected, is ensuring that the downhole pump is properly built. The main component that needs to be sized is the barrel length, which should be long enough to accommodate the plunger length, the downhole stroke length, all fittings, and a rounding factor.

The minimum plunger length recommended is normally 3 ft. It is recommended that the length of the plunger is increased 1 ft/1,000 ft of well depth, up to a 6-ft maximum length. Plunger lengths longer than 6 ft have not shown to be an advantageous, while specialty pumps may have a plunger shorter than 3 ft.

When determining the barrel length, normally the maximum pumping-unit stroke length is considered to allow pump displacement to be increased with the existing downhole pump without pulling the downhole pumping equipment to change the capacity. However, this extra length and the pump-displacement option increase the price of the pump. Thus, the downhole Sp length should be considered the stroke measurement to use in the barrel-length calculation.

The types of fittings and their respective lengths depend on the type of pump being used. Normally, 12 to 18 in. covers the length range for various pump types.

The final factor in determining the barrel length is a rounding factor. Once the previous factors are added together, the length-of-barrel calculation is normally increased to the next available whole-foot standard length for a pump according to API Spec. 11AX. Using the surface stroke length vs. the downhole Splength, and designating this length as the rounding factor, may provide sufficient barrel length to accommodate the spacing length some operators or pump shops suggest.

This spacing factor is normally a minimum of 24 in. for wells up to 4,000 ft deep, then increases 6 in. in length per 1,000 ft of increased well depth. These rules are recommended for all steel sucker-rod strings. When fiber-reinforced plastic (FRP) rods are used, additional increased spacing may be required because of the increased "stretch" or elongation of the rod string under the load. The FRP-rod manufacturer should have, or have access to, a sucker-rod-string design program that will estimate the increased plunger travel. This length then should be used in the barrel-length determination. Thus, for a 5,000-ft-deep well, with a required 74-in. surface stroke, a 48-in.-long plunger with a steel rod string and a designated  $2\frac{7}{8} \times 1\frac{1}{2}$ -in. RHB pump, the displacement length must be greater than 152 in. to permit adequate spacing. A standard 12-ft barrel with 1-ft top and bottom extension couplings should be considered.

## **2.8 Pump operating problems and solutions**

There are four common ways subsurface rod pumps are abused. These problems may also be applicable to other downhole pumps, and thus, these related solutions probably are applicable to other artificial-lift techniques. The four common abuses follow:

- Overpumping the well
- Gas interference
- Pump hitting up or down
- Trash entering the pump

Because the recommended pump-displacement design is for the pump to have greater capacity than the well, an overpumping condition may occur if the well is not properly controlled. An overpumping condition is indicated when there is a fluid pound more than one-quarter of the way down on the downstroke because of insufficient fluid in the well to charge or fill the downhole pump. This condition may be seen on the surface if the pound is very severe, but the best way to detect this is with the use of a dynamometer. Other indications of overpumping are if the pump volumetric efficiency is less than 70% or if a downhole fluid-level survey shows that the normal operating fluid level is at or very near the pump intake. Overpumping may cause mechanical damage to the pump or cause damage uphole to the rod/tubing because of increased buckling and wear. Properly setting a well controller will help reduce severe overpumping.

Indications of gas interference include low volumetric efficiency, while the fluid-level survey shows apparent, adequate pump submergence and a polish rod that is excessively hot to the touch. A dynamometer survey, when combined with the precalculated well loads for the applicable design conditions, may indicate gas pound, gas lock, or inconsistency with the assumed conditions. The gas-interference condition may be remedied by increasing the pump compression ratio, if possible. This may be as simple as respacing the pump as the fluid level decreases in the well annuli or changing the stroke length for the pump downhole, or it may require pulling the pump and altering its design. The compression ratio of the replacement pump should be determined to ensure adequate lift capabilities. Additionally, a pump

with tighter fit tolerance/waste space, smaller pump diameter, increased stroke length, adequate downhole separation, and properly designed pump gas anchor should be considered along with properly placing the pump intake above or below the perforations as discussed in Sucker-rod lift.

Finally, if these normal solutions do not resolve the problem, then special pumps or specialty components may be considered.

A pump component hitting on the up- or downstroke is indicated by an instantaneous load change and can be shown with a load-capable dynamometer. This condition normally occurs because of inadequate pump spacing as the fluid level pumps down or because the pump has inadequate compression ratio/excessive waste space for the seating depth for the designed pumping parameters. While severely “tapping,” or “tagging,” the pump may be heard, felt, or seen, the smashed pump components obtained during a pump teardown will show the damage this condition causes. This condition may also be magnified for tubing that does not have an anchor, or if the anchor is not properly set. Other conditions that may cause this problem include if the pump-intake piping is plugged or not properly designed, if the pump has inadequate compression ratio, if the polished-rod clamp is not sufficiently tightened, and/or if the pump barrel is not properly sized.

The last normal operating problem is caused by solids entering the pump. There are many reasons for these particulates. The particulates may be caused by well conditions such as producing the fracturing sand back into the wellbore, very fine powder from the formation, iron sulfide scale from the downhole equipment because of inadequate corrosion inhibition, iron sulfide or other scales from the formation because of incompatible fluids, or from overpumping the well. Solutions include using different types of pumps designed to handle fines and solids, such as three-tube pumps or soft-packed plungers, and using harder materials or coatings for the pump components. Filters or downhole, wire-wrapped screens have been used with limited success until they plug. In the past, tighter fit tolerances ( $< 0.003$  in.) for the plunger-barrel annuli have been considered; however, recent work done in both the laboratory and the field, has shown the benefit of increasing these tolerances

to greater than 0.005 in. when solids are a problem. This work has resulted in the variable-slippage pump that would be useful for conditions in which solids are present in the produced fluids and gas interference is also a problem.

## **2.9 Pump shop, repair, and audit**

The pump manufacturer typically machines or obtains subcontract pump components for future assembly of the pump by a pump shop. The shop, the knowledge of the design, selection of pump types, and associated component metallurgies become critical to long well life and a decreased failure frequency. API RP 11AR provides useful information on pump types, component and metallurgy selection, pump-setting-depth calculation, and pump assembly/teardown.

While the pump manufacturers usually produce their pump components with an acceptable quality program (such as ISO 9001 or API Spec. Q1), most pump shops are not covered under these rigorous plans. Thus, it becomes critical to have the pump shop and its employees audited by qualified personnel to ensure that training, workmanship, safety, and environmental considerations are adequate. On the basis of many shop audits, assembly and teardown observations, requirements and recommendations in API standards, and performance quality requirements, a checklist that should be used as a first step in obtaining an acceptable pump shop has been developed and published. Once the audit is performed and the checklist completed, the findings should be discussed with the appropriate pump-shop personnel and a time line developed detailing when changes to resolve any problem areas will be made.

### ***Nomenclature***

$C$  = diametrical clearance between plunger and barrel, in.

$D$  = plunger diameter, in.

- $L_p$  = plunger length, in.
- $N$  = pumping-unit speed, spm
- $p$  = differential pressure across plunger, psi
- $P_D$  = pump displacement, BLPD
- $Q$  = slippage or leakage loss, in.<sup>3</sup>/min
- $S$  = surface stroke length, in.
- $W_C$  = well production capacity, BFPD

### 3 Relative advantages and disadvantages of artificial lift systems

The discussion of each major artificial lift system includes advantages and disadvantages, more detailed listings are available from various sources.

#### 3.1 Advantages

##### Rod Pumping

Relatively simple system design, Applicable to slimholes and multiple completions, Can pump a well down to very low pressure (depth and rate dependent), Analyzable, Corrosion and scale treatments easy to perform, Applicable to pumpoff control if electrified.

##### Hydraulic piston pumping

Can lift from as deep as 18,000 feet (5486 m), can produce 500 B/D (79.49 m<sup>3</sup>/d) from 15,000 feet (4572 m), crooked holes present minimal problems depending on the model of pump being used, installations can be analyzed, Flexible. Normally able to match output to delivery of well, can use diesel, downhole pumps

can be installed /retrieved using the power fluid, capable of producing a well to low formation pressures (pumped off), can be used on offshore platforms, can use any liquid for power fluid. Typically a liquid being produced from the well is used (water or oil), easy to pump in cycles depending on the model of pump being used, power fluid can be heated to reduce viscosity of produced fluid, additional liquids can be mixed with the power fluid (such as diesel) for this purpose also, inhibitors can be mixed with the power fluid for the purposes of controlling corrosion, scale, emulsions, **etc.**

#### Electric submersible pumping

Can lift a wide range of volumes from low volumes 750 B/D, to extremely high volumes; 20,000 B/D (19 078 m<sup>3</sup>/d) in shallow wells with large casing. Currently lifting ± 120,000 B/D (19 068 m<sup>3</sup>/d) from water supply wells in Middle East with 600 hp (448 kW) units; 720 hp (537 kW) available; 1,000 hp (746 kW) under development. Crooked holes present no problem. Applicable offshore. Corrosion and scale treatment easy to perform. Availability of different sizes.

#### Gas Lift

Can handle large volume of solids with minor problems. Handles large volume in high-PI wells (continuous lift}; 50,000 B/D (7949.37 m<sup>3</sup>/d). Fairly flexible-convertible from continuous to intermittent to chamber or plunger lift. Crooked holes present no problem. Corrosion is not usually as adverse. Applicable offshore.

#### Hydraulic jet pump

Can lift from as deep as 20,000 feet (5486 m). Can produce 25,000 B/D (3975 m<sup>3</sup>/d) from 5,000 feet (1520 m), Crooked holes present no problems. Installations can be analyzed. Flexible. Normally able to match output to delivery of well. Can use diesel. Downhole pumps can be installed /retrieved using the power fluid. No record of plugging due to producing sand. Can be used on offshore platforms. Can use any liquid for power fluid. Typically a liquid being produced from the well is

used (water or oil). Easy to pump in cycles by qualified personnel. Power fluid can be heated to reduce viscosity of produced fluid. Additional liquids can be mixed with the power fluid (such as diesel) for this purpose also. Inhibitors can be mixed with the power fluid for the purposes of controlling corrosion, scale, emulsions from reservoir, etc. No record that a jet pump has ever created an emulsion

#### **Progressive cavity pumps**

Some types are retrievable with rods. Moderate cost. Low profile.

#### **Continuous belt transportation**

Very low cost of operation. Low cost of installation. Oleophilic belt collects only heavy oil. Optimal application for high GOR, high viscosity, high sand and paraffin wells. Increased production of stripper, marginal, and orphaned wells. Lower environmental impact, no disposal of radioactive rods or hazardous fluids. Minimal water reclamation. Unobtrusive in urban locations.

### **3.1 Disadvantages**

#### **Rod Pumping**

Crooked holes present a friction problem. High solids production is troublesome. Gassy wells usually lower volumetric efficiency. Is depth limited, primarily because of rod capability. Obtrusive in urban locations. Heavy and bulky in offshore operations. Susceptible to paraffin problems.

#### **Hydraulic piston pumping**

Power oil systems are possible fire issue. Production end has same problems with sand as does a rod pump. Production end has same problems with gas as does a rod pump. Can install a vented system so gas can by-pass pump but such systems are more expensive. Qualified personnel needed for trouble shooting in field, as with other A/L systems. Qualified personnel needed to obtain valid well tests, as with other A/L systems. Surfactant needed for lubrication of engine end when using water

for power fluid. Any leaks when using power oil pose an environmental issue. The issues of a leak when using a power water system are much less.

#### Electric submersible pumping

High voltages (1,000 V) are necessary. Impractical in shallow, low volume wells. Lack of production rate flexibility. Casing size limitation.

#### Gas Lift

- Safety problem with high pressure gas.

#### Hydraulic jet pump

Uses momentum transfer as method for operation. A very inefficient form of energy transfer. Total system efficiency approximately 10-30%. Requires approximately 10% submergence to prevent cavitation damage at low production rates. Pump will cavitate if more production than planned is forced through the pump. As with other A/L systems, the less the back pressure the better. Producing more free gas for a given nozzle/throat combination than intended will reduce the amount of produced liquids and may cause cavitation damage. Pump must be retrieved and a larger throat installed. Power oil systems are a possible fire issue. High surface power fluid lines are required. Any leaks when using power oil pose an environmental issue. The issues of a leak when using a power water system are much less. Can install a vented system so gas can by-pass pump but such systems are more expensive. Qualified personnel needed for trouble shooting in field, as with other A/L systems. Qualified personnel needed to obtain valid well tests, as with other A/L systems.

#### Plunger lift

May not take well to depletion; therefore, eventually requires another lift method.

### Progressive cavity pumps

Elastomers in stator swell in some well fluids. Pump off control is difficult. Sand and solids quickly wear chrome off of rotor.

### Continuous belt transportation

Limited to 500B/D (79.2 m<sup>3</sup>/d) from 12123 feet (4000 m). Not suitable for high volume production wells. Cannot be used on offshore platforms. Optimal only for medium, heavy and very heavy oil. Limited to wells deviated less than 5 deg. depending on well bore configuration.

## **References**

1. Gabor Takacs. Sucker-rod pumping manual. - Budapest: Pennwell Corp, 2004. - 395 p.
2. Gabor Takacs. Electrical Submersible Pumps Manual. - Budapest: Gulf Professional Publishing, 2009. - 440 p.
3. Lev Nelik and Jim Breman ; Progressing cavity pumps, downholes pumps and mudmotors. - Berlin: Elsevier Science, 2013. - 328 p.
4. Robert L. Sanks. Pumping station. - Kansas City: Butterworth-Heinemann, 2005. - 976 p.
5. Ray C. Mullin, Phil Simmons. Submersible Pump Cable. Electrical Wiring Residential, 2009. - 424 p.