

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

---

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

| Тема работы   |
|---|
| <b>Асинхронный электропривод шахтного вентилятора</b> |

УДК 62-83-523:622.445

Студент

| Группа  | ФИО                             | Подпись | Дата |
|---------|---------------------------------|---------|------|
| 3-5ГЗБ2 | Абдуллаев Муслимбек Махмуд угли |         |      |

Руководитель

| Должность         | ФИО          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-------------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Ст. преподаватель | Гнеушев В.В. |                           |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО         | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|-------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Попова С.Н. | к.э.н.                    |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент | Ледовская А.М. |                           |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Руководитель<br>Отделения | ФИО            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|---------------------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор                 | Дементьев Ю.Н. | Ph.D, доцент              |         |      |

Томск – 2018 г.

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

---

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением Ю.Н. Дементьев

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

| Группа  | ФИО                             |
|---------|---------------------------------|
| 3-5ГЗБ2 | Абдуллаев Муслимбек Махмуд угли |

Тема работы:

**Асинхронный электропривод шахтного вентилятора**

|   |                         |
|---|-------------------------|
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | № 3244/с от 10.05.2018г |
|---|-------------------------|

|  |              |
|--|--------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 01.06.2018г. |
|--|--------------|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|   |   |
|---|---|
| <b>Исходные данные к работе</b>   | Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации  |
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> | Введение; общие вопросы шахтной вентиляции, краткий обзор основных видов и конструкций шахтных вентиляторов; общие сведения об электроприводе; общие принципы регулирования электропривода, расчет параметров и выбор элементов электропривода шахтного вентилятора; функциональная схема электропривода; разработка и исследование математической модели электропривода социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение. |

|   |   |
|---|---|
| <b>Перечень графического материала</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- схема кинематическая;</li> <li>- схема электрическая принципиальная;</li> <li>-схема электрическая функциональная;</li> <li>- схема электрическая структурная;</li> <li>- демонстрационный лист;</li> <li>- технико-экономические показатели;</li> </ul> |
| <b>Перечень графического материала</b><br><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- схема кинематическая;</li> <li>- схема электрическая принципиальная;</li> <li>-схема электрическая функциональная;</li> <li>- схема электрическая структурная;</li> <li>- демонстрационный лист;</li> <li>- технико-экономические показатели;</li> </ul> |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>                           |   |
| <b>Раздел</b>   | <b>Консультант</b>  |
| «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»                           | Попова Светлана Николаевна  |
| «Социальная ответственность»  | Ледовская Анна Михайловна   |
| <b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>     |   |
| Заключение  |   |

|   |               |
|---|---------------|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> | 05.04.2018г.. |
|---|---------------|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность         | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата         |
|-------------------|--------------|------------------------|---------|--------------|
| Ст. преподаватель | Гнеушев В.В. |                        |         | 05.04.2018г. |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа  | ФИО                             | Подпись | Дата         |
|---------|---------------------------------|---------|--------------|
| 3-5ГЗБ2 | Абдуллаев Муслимбек Махмуд угли |         | 05.04.2018г. |

## Реферат

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование частотно-регулируемого электропривода шахтного вентилятора местного проветривания для проветривания тупиковых горных выработок в угольных и рудных шахтах с номинальной подачей  $10 \text{ м}^3$  и предельным давлением  $2500 \text{ Па}$ .

Ключевые слова: Электропривод, вентилятор, преобразователь частоты, моделирование, электромеханические и механические характеристики, переходный процесс, энергосбережение.

В данной работе были рассмотрены общие вопросы шахтной вентиляции, приведены основные типы шахтных вентиляторов и требования к ним. В работе произведен расчёт и исследование электропривода вентилятора. Смоделированы и исследованы переходные процессы регулируемого электропривода в среде MatlabSimulink; определена ресурсная (ресурсосберегающая) эффективность проекта. Пояснительная записка ВКР выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord, также использовались программы MathCad 13, Matlab.

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| Введение  | 7  |
| 1 ШАХТНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ  | 10 |
| 1.1 Общие сведения о вентиляции   | 10 |
| 1.2 Вентиляция в шахтах   | 12 |
| 1.3 Требования по проветриванию подземных выработок   | 14 |
| 1.4 Типы и требования к шахтным вентиляторам  | 17 |
| 2 ЭЛЕКТРОПРИВОД ВЕНТИЛЯТОРОВ  | 24 |
| 2.1 Способы управления воздушным потоком  | 24 |
| 2.2 Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя   | 27 |
| 2.2.1 Частотное регулирование   | 27 |
| 2.3 Функциональная схема ЭП вентилятора   | 30 |
| 3 ВЫБОР И РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА   | 31 |
| 3.1 Вентилятор осевой шахтный ВМЭ-8   | 31 |
| 3.2 Выбор и определение параметров электродвигателя   | 34 |
| 3.2.1 Электромеханические и механические характеристики асинхронного двигателя ВРМ 200L2У2,5  | 41 |
| 3.2.2 ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ВЕНТИЛЯТОРНОЙ НАГРУЗКОЙ В ПРОГРАММЕ MATLAB (SIMULINK)  | 46 |
| 3.2.3 Математическое описание, структурные схемы и моделирование обобщенной асинхронной машины  | 48 |
| 3.2.4 Моделирование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат с вентиляторной нагрузкой   | 53 |
| 4 ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА  | 56 |
| 4.1 Выбор преобразователя частоты   | 56 |
| 4.2 Выбор закона частотного регулирования   | 60 |
| 4.2.1 Механические характеристики системы преобразователь – двигатель при законе $U_1 f_1 I_2 = \text{const}$   | 61 |
| 4.2.2 Имитационная модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат и вентиляторной нагрузке при законе $U_1 f_1 I_2 = \text{const}$      | 65 |
| 4.2.3 Структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат и вентиляторной нагрузки при настройке вольт – частотной характеристики | 68 |
| ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»   | 71 |
| 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение   | 72 |

|   |     |
|---|-----|
| 5.1 Инициализация НТИ и его технико-экономическое обоснование                               | 72  |
| 5.1.1 Потенциальные потребители результатов научно-технического проекта                     | 73  |
| 5.1.2 Анализ конкурентных технических решений   | 73  |
| 5.2 Организация и планирование научно-исследовательских и проектных работ                   | 75  |
| 5.3 Расчет затрат и договорной цены проекта электропривода запорного клапана в системе ГДИС | 78  |
| 5.3.1 Материальные затраты  | 79  |
| 5.3.2 Затраты на оплату труда   | 79  |
| 5.3.3 Отчисления на социальные нужды  | 80  |
| 5.3.4 Амортизация основных фондов и нематериальных активов                                  | 80  |
| 5.3.5 Прочие затраты  | 81  |
| 5.3.6 Итого стоимость разработки  | 81  |
| 5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования   | 81  |
| 5.4.1 Интегральный показатель ресурсоэффективности  | 82  |
| 5.4.2 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения<br>Разработки              | 83  |
| ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»  | 87  |
| 6 Социальная ответственность  | 87  |
| 6.1 Производственная безопасность   | 90  |
| 6.2 Экологическая безопасность  | 97  |
| 6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях   | 98  |
| 6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности                             | 102 |
| Заключение  | 104 |
| Conclusion  | 105 |
| Список литературы   | 106 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А  | 108 |

## Введение

Доля энергозатрат в себестоимости продукции и сфере услуг в России составляет до 20–30%, что значительно выше, чем в странах с развитой рыночной экономикой. Одной из основных причин такого положения являются применяемые энергорасточительные технологии, оборудование и приборы. По оценкам экспертов, внедрение энергосберегающих технологий и оборудования способствует снижению потребностей в энергоресурсах не менее чем на 30–40%. Мировая и отечественная инженерная практика показала, что наибольший экономический эффект при реализации программ энергосбережения дает переоснащение энергетических сетей и коммуникаций устройствами регулируемого электропривода.

По оценке специалистов, в целом по стране внедрение регулируемого электропривода в энергетике, промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве и других отраслях может обеспечить ежегодную экономию 35–40 млрд. кВт·ч. электроэнергии, что эквивалентно годовой выработке 30 энергоблоков мощностью по 300 МВт каждый.

В промышленно развитых странах (и в России тоже) около 2/3 всего объема потребляемой электроэнергии используется для механической работы, выполняемой электроприводом. Наиболее широко в отраслях промышленности и коммунального хозяйства используются электроприводы на базе асинхронных электродвигателей. На их долю приходится 55–60% всей потребляемой энергии.

На сегодняшний день угольная промышленность России, в процессе идущих преобразований имеет устойчивую тенденцию к повышению эффективности производства, а уровень добычи угля соответствует потребностям страны. Только за последние 5 – 6 лет отмечается существенный рост добычи угля и постепенное развитие и модернизация технического оснащения угледобывающих предприятий. Нельзя сказать, что техническое переоснащение шахт в корне изменилось, базовые модели оборудования 60-х годов довольно четко просматриваются в современных

конструкциях взрывозащищенного оборудования. большей частью это связано со взрывозащищенным оборудованием, относящимся к типу «ExdI» – «взрывонепроницаемая оболочка». Фактические величины конструкции взрывонепроницаемой оболочки остаются неизменными уже более полувека. Однако, за счет улучшения технологических процессов производства, применения новых материалов и оборудования удается получить более надежное и качественное оборудование.

В горнодобывающей промышленности первостепенным требованием является безопасность. Первопричиной этого требования служит наличие в угольных пластах сопутствующего газа – метана. Взрывоопасная концентрация метана в воздухе составляет 3%. В условиях шахты, в отсутствие естественной циркуляции воздуха, взрывоопасная концентрация метана в воздухе существенно превышает допустимый уровень взрывобезопасности.

Основным способом достижения взрывобезопасности в шахтах и горных выработках, опасных по газу и пыли, служит поддержание атмосферы под землей на уровне менее 1-го % содержания метана, путем искусственного нагнетательного проветривания. Исторически сложилось, во времена Министерства угольной промышленности и Госплана, было принято обозначение вентиляторов местного проветривания – ВМЭ. В начале выработки угольного пласта величина длин и сечения ветвей вентиляции малы. Поэтому параметры применяемых в этом случае вентиляторов местного проветривания невелики. Нет необходимости в большой подаче и давлении воздуха. По мере выработки угольного пласта длины и сечения ветвей вентиляции увеличиваются. Все это ведет к необходимости увеличения объема подачи и давления воздуха в вентиляционную систему в целом, и в каждую отдельно взятую ее ветвь. В связи с этим в основном вентиляционном туннеле производят замену вентиляторов местного проветривания более мощными. Оценивая в целом этапы прохождения выработки от начала и до завершения видно, что необходимо поэтапное применение все более мощных,

а следовательно, и более дорогих вентиляторов. Плюс, необходимость в монтаже или демонтаже и в пусконаладочных работах, являющихся в условиях шахты весьма затруднительными. Как правило, в шахтах, при необходимости замены вентилятора на более мощный, устанавливают вентилятор, имеющий большие, по сравнению с требуемыми, на тот момент, параметры давления и подачи. А это и большой расход электроэнергии, и ухудшение условий работы людей в забое.

Анализируя все эти факторы, тормозящие добычу угля и делающие ее более затратной по себестоимости, приходим к выводу о необходимости разработки регулируемого энергосберегающего осевого вентилятора местного проветривания, способного функционально обеспечить необходимые давление и подачу воздуха в забой на всем его продвижении.

# 1. ШАХТНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

## 1.1. Общие сведения о вентиляции

Слово вентиляция в переводе с латинского языка означает «проветривание». Поддерживать в помещении определенный состав и состояние воздуха, а также обеспечивать условия необходимые для комфортного проживания людей и успешного протекания технологических процессов, должна вентиляция. Вентиляция – естественный или искусственный регулируемый воздухообмен в помещениях, обеспечивающий создание в помещении воздушной среды в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями.

Воздухообменом называется частичная или полная замена воздуха, содержащего вредности, чистым атмосферным воздухом. Для определения требуемого воздухообмена должны быть известны следующие исходные данные: количество выделяемых вредностей (тепла, влаги, газов и паров, пыли и т. д.) в течение определенного периода времени, например за 1 час; допустимое количество вредностей в определенном объеме воздуха, например в 1 м<sup>3</sup> воздуха помещения; количество вредностей, содержащихся в определенном объеме, например в 1 м<sup>3</sup>, подаваемого в помещение воздуха.

Для жилых и общественных зданий определить воздухообмен, исходя из содержания в воздухе углекислого газа CO<sub>2</sub>, не трудно, поскольку известно число людей, пребывающих в помещении. Значительно сложнее определить воздухообмен по газовой вредности для производственных помещений, так как количество выделяющихся в них газов зависит от технологического процесса, характера производственного оборудования и степени его герметизации. Для определения количества газовой вредности пользуются теоретическими расчетами или проверенными экспериментальными данными, в некоторых случаях приходится ставить для этого специальные опыты.

В отличие от жилых и общественных зданий в производственных зданиях источники, выделяющие и поглощающие тепло весьма разнообразны. Это вызывает необходимость составлять по производственным помещениям тепловые балансы, т. е. выявлять все виды поступления и расхода тепла.

Рассмотрим основные источники поступления и расхода тепла:

- тепла, выделяемого людьми;
- тепла, выделяемого лампами и осветительными приборами, электробытовыми приборами: холодильниками, плитами и т. д.;
- тепла, выделяемого работающими приборами и оборудованием: компьютерами, печатающими устройствами, фотокопировальной техникой и пр.

В производственных помещениях дополнительными источниками тепловыделений могут быть:

- нагретое производственное оборудование;
- тепловыделения от работающего оборудования;
- горячие материалы и полуфабрикаты;
- продукты сгорания и химических реакций.

При разработке системы вентиляции в первую определяют ее тип. Классификация типов вентиляционных систем производится на основе следующих основных признаков :

По способу перемещения воздуха: естественная или искусственная система вентиляции.

По назначению: приточная или вытяжная система вентиляции.

По зоне обслуживания: местная или общеобменная система вентиляции

По конструкции: наборная или моноблочная система вентиляции.

## 1.2. Вентиляция в шахтах

Вентиляционные сети шахт представляют собой совокупность большого количества подземных выработок, отличающихся разнообразием параметров, влияющих на аэродинамику этих сетей. Эти параметры постоянно меняются, следовательно, меняется и аэродинамика сетей.

Выработки могут иметь различную форму поперечного сечения, величина этого сечения колеблется в пределах от 3,0...4,0 до 30,0...40,0 м<sup>2</sup>. В больших пределах колеблется и длина выработок, доходя иногда до нескольких тысяч метров.

Степень шероховатости стенок выработок, влияющая на величину аэродинамического сопротивления, зависит от типа и размеров крепи выработок и тоже меняется в широких пределах.

Потребители воздуха в шахте отличаются большим разнообразием, как по количеству необходимого воздуха, так и по времени его подачи. В качестве потребителя может фигурировать отдельная выработка, так и вся шахта или значительная ее часть.

Эти обстоятельства привели к необходимости создания группы специализированных шахтных вентиляторов, отвечающих по своим параметрам запросам горной отрасли.

Вентилятором называется механическая установка, создающая разность давлений на входе в вентиляционную сеть и выходе из нее.

Основное отличие шахтных вентиляторов от вентиляторов, применяющихся в других отраслях промышленности – большая производительность при довольно высоких параметрах по давлению. Производительность этих вентиляторов может достигать до 500...600 м<sup>3</sup>/с, величина разности давления, создаваемая шахтными вентиляторами, ограничивается значением 0,5...10,0 кПа. Степень сжатия воздуха вентилятором – 1,1. Это позволяет считать воздух несжимаемым в расчетах, связанных с работой вентилятора.

По своему назначению шахтные вентиляторы условно подразделяются на три группы:

- главные вентиляторы, обслуживающие вентиляционную сеть всей шахты или большей ее части (рисунок 1);
- вспомогательные вентиляторы, обслуживающие значительную часть вентиляционной сети шахты или работающие совместно с главным;
- вентиляторы местного проветривания (ВМП), обеспечивающие воздухом отдельный забой, выработку или рабочее место.

В качестве главных и вспомогательных могут применяться одни и те же вентиляторы значительных размеров. ВМП составляют отдельную группу вентиляторов, отличающихся небольшими размерами, малой мощностью привода и, как правило, небольшой производительностью [2].



Рисунок 1 – Вентилятор главного проветривания ВОД30М2

### **1.3. Требования по проветриванию подземных выработок**

Содержание кислорода в воздухе выработок, в которых находятся или могут находиться люди, должно составлять не менее 20 % (по объему). Содержание углекислого газа в рудничном воздухе не должно превышать на рабочих местах 0,5 %, в выработках с общей исходящей струей шахты – 0,75 %, а при проведении и восстановлении выработок по завалу – 1 %. Суммарное содержание горючих газов метана и водорода в выработках не

должно превышать 0,5 % по объему (10 % – нижней концентрации предела взрываемости) (далее – НКПР) [3].

Воздух в действующих подземных выработках не должен содержать ядовитых газов (паров) больше предельно допустимой концентрации, указанной в таблице 1.

Таблица 1 – Предельно допустимые концентрации газов (ядов).

| Наименование ядовитых газов (паров)              | Формула                         | ПДК газа    |                     |
|--|---------------------------------|-------------|---------------------|
|  |                                 | % по объему | мг / м <sup>3</sup> |
| Окись углерода (оксид углерода)                  | CO                              | 0,0017      | 20                  |
| Окислы азота (оксиды азота) в пересчете на NO    | NO <sub>2</sub>                 | 0,00026     | 5                   |
| Сернистый газ (диоксид серы, сернистый ангидрид) | SO <sub>2</sub>                 | 0,00038     | 10                  |
| Сероводород                                      | H <sub>2</sub> S                | 0,00071     | 10                  |
| Акролеин   | C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O | 0,000009    | 0,2                 |
| Формальдегид                                     | CH <sub>2</sub> O               | 0,00004     | 0,5                 |
| Ртуть металлическая                              | Hg                              | —           | 0,01                |

*Примечание.* 1 м<sup>3</sup> принимается эквивалентным 2 м<sup>3</sup> метана.

Организация проветривания и количество воздуха, необходимого для проветривания отдельного выработок и шахт в целом, должны определяться для каждого месторождения по специальным методикам, согласованных с Госгортехнадзором России или, по его разрешению, с территориальными органами.

Все шахты должны иметь искусственную вентиляцию. Проветривание подземных горных выработок только за счет естественной тяги не допускается.

Все выработки должны проветриваться активной струей воздуха, за исключением тупиков, длиной до 10 м, проветриваемых за счет диффузии.

Вентиляционные устройства должны обеспечивать максимальную герметичность при любых режимах проветривания. Их конструкция должна исключать возможность разгерметизации и короткого замыкания вентиляционных струй. В выработках, соединяющих воздухоподающие и вентиляционные стволы, должны устанавливаться каменные, бетонные или другие перемычки, выполненные из негорючих материалов. Запрещается применять горючие материалы при сооружении кроссингов.

Подземные выработки должны проветриваться только непрерывно действующими вентиляторами главного проветривания и вспомогательными вентиляторами главного проветривания, установленными на поверхности или по проекту, согласованному с Госгортехнадзором России, под землей.

Вентиляторная установка для проветривания при проходке ствола должна быть установлена на поверхности на расстоянии не менее 15 м от ствола. Порядок проветривания определяется проектом организации работ.

Способ проветривания шахт может быть нагнетательным, всасывающим или нагнетательно – всасывающим.

Главные вентиляторные установки должны состоять из двух самостоятельных вентиляторных агрегатов, причем один из них резервный. Вентиляторы для новых и реконструируемых установок должен быть одного типа и размера.

Главные и вспомогательные вентиляторные установки главного проветривания должны осматриваться ежедневно работниками, назначенными главным механиком шахты; еженедельно главным механиком и начальником пылевентиляционной службы шахты.

Установка вентиляторов местного проветривания (ВМП) в тупиковых выработках при любом угле наклона выработки должна производиться по проекту, утвержденному главным инженером шахты. При этом производительность ВМП не должна превышать 70 % количества воздуха, подаваемого к его всосу за счет общешахтной депрессии; ВМП должен устанавливаться на расстоянии не менее 10 м от выхода исходящей струи, а расстояние от конца нагнетательного трубопровода до забоя или до пульта управления комбайном (при проходе выработок комбайнами) не должно превышать 10 м.

При проходке восстающих выработок запрещается отставание вентиляционного трубопровода от забоя свыше 6 м.

При проходке восстающих с использованием механизированных комплексов и проветривании забоя воздушно – водяной смесью должно быть обеспечено удаление исходящей струи из забоя с помощью отсасывающего вентилятора местного проветривания.

Результаты отбора проб воздуха в проходческих и очистных забоях ежемесячно фиксируются в журнале и заверяются подписью лица технического надзора.

По согласованию с территориальными органами Госгортехнадзора России допускается установка ВМП в тупиковой части выработки или рассредоточение вентиляторов по ее длине.

На каждой шахте должны быть в наличии вентиляционные планы, разработанные в установленном порядке.

Ежемесячно должны производиться:

2. замеры количества воздуха, поступающего по горизонтам, крыльям, залежам, блокам, участкам, панелям и т.д., с сопоставлением замерных и расчетных величин; кроме того, замеры должны производиться при каждом значительном изменении режимов проветривания;
3. отбор проб на определение качественного состава воздуха во всех рабочих зонах, связанных с нарушением сплошности массива;

### 3.1. Типы и требования к шахтным вентиляторам

Все выпускающиеся для горной отрасли вентиляторы относятся по конструкции к так называемым «лопастным нагнетателям». В вентиляторах этого типа энергия вращающегося ротора преобразовывается в потенциальную и кинетическую, в свою очередь, сообщаемые перемещаемому воздуху.

Лопастные вентиляторы в соответствии с характером движения воздуха в них и формы ротора (рабочего колеса) подразделяются на осевые (рисунок 2) и радиальные, последние более известны как центробежные (рисунок 3).

Достоинства осевых вентиляторов:

- относительная простота конструкции;
- простота монтажа, меньшая площадь под установку;
- простота реверса воздушной струи (большинство современных осевых вентиляторов вообще не нуждаются в устройстве реверсивных каналов );
- относительно высокая производительность;
- более высокий коэффициент полезного действия;
- удобство применения вентиляторов этого типа в качестве передвижных ВМП.

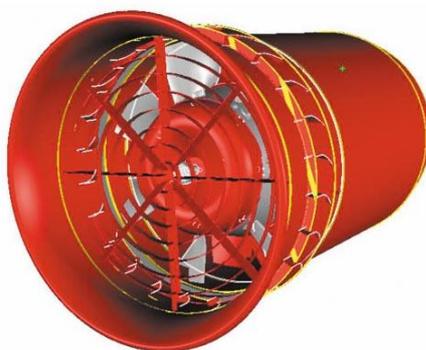


Рисунок 2 – Вентилятор ВМЭ – 6 осевого типа

Достоинства центробежных вентиляторов:

- высокая механическая надежность и большой срок службы, связанные с применением более низких скоростей вращения рабочего колеса ;
- высокая устойчивость и надежность рабочих режимов, связанные с видом характеристик этих вентиляторов;
- меньшая шумность при работе;
- относительно высокая депрессия;
- большая глубина регулирования;
- меньшая чувствительность к загрязненному воздуху.



Рисунок3 –Вентилятор центробежный ВЦ-15

Основным способом проветривания тупиковых выработок является нагнетательный. К достоинствам данного способа проветривания следует отнести то, что проветриваниепризабойного пространства осуществляется деательной струей свежего воздуха, выходящего из трубопровода с большой скоростью. Причем, через ВМП будет поступать свежий воздух, а утечки его через стенки воздухопровода будут обеспечивать разбавление метана, выделяющегося с обнаженных поверхностей в выработке. Следует отметить, что при протяженности существующих выработок до 2000 м существует необходимость контроля утечек воздуха, так как визуальный контроль за состоянием трубопровода затруднен[2].



Рисунок4 – Полный типоразмерный ряд ВМП

При проветривании тупиковых выработок с помощью ВМП они должны работать непрерывно – это распространяется на газовые и негазовые шахты. Для предупреждения повторного засасывания с помощью ВМП исходящего из тупиковой выработки воздуха (режим рециркуляции) и предотвращения накопления в ней метана (загаживания) вентилятор устанавливают в выработке, проветриваемой общешахтным вентилятором, не ближе 10 метров от устья проходимой тупиковой выработки. При этом подача ВМП не должна превышать 70 % расхода воздуха в выработке в месте его установки, что обеспечит подсвежение исходящего потока воздуха из тупиковой выработки по участку выработки между ВМП и устьем тупиковой выработки при средней скорости движения воздуха не менее 0,15 м/с. Для повышения надежности проветривания тупиковых выработок наряду с действующим устанавливается резервный ВМП с резервным питанием. Выполнение этих требований обеспечит безопасную работу ВМП .

#### Вентилятор ВМЭ-12А

Вентилятор осевой регулируемый ВМЭ-12А (рисунок 5) предназначен для проветривания горизонтальных и наклонных тупиковых горных выработок и вертикальных стволов диаметром до 6м. Применяется также при проходке тоннелей и штолен. Взрывобезопасное исполнение этих вентиляторов (РВ) обеспечивает возможность эксплуатации их в шахтах,

опасных по газу и пыли. Рассчитан на работу с жесткими (металлическими) воздуховодами диаметром 1000...1200мм .



Рисунок5 –Вентилятор ВМЭ -12 А

Отличительные особенности:

- современная аэродинамическая схема с меридиональным ускорением потока, обеспечивающая более высокий КПД и экономичность работы;
- противосрывное устройство, которое устраняет помпажные режимы работы, расширяет область промышленного использования вентилятора и обеспечивает высокую надежность;
- простое и надежное регулирование режимов работы сменными венцами рабочего колеса;
- облегченное рабочее колесо, увеличивающее долговечность и надежность работы двигателя и вентилятора;
- оригинальное крепление сменных венцов поворотными клиновыми зажимами, исключаящие резьбовые детали, которые подвержены коррозии;
- безопасность работы, легкость обслуживания и доступа ко всем частям вентилятора;
- низкий уровень шума благодаря применению оригинального спрямляющего аппарата;

- удобство транспортировки по выработкам на салазках.

Параметры вентилятора ВМЭ-12 А приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры вентилятора ВМЭ-12 А

|   |      |
|---|------|
| Номинальный диаметр рабочего колеса, мм               | 1200 |
| Номинальная подача, м <sup>3</sup> /с                 | 21   |
| Подача в пределах рабочей области, м <sup>3</sup> /с: |      |
| - минимальная   | 10   |
| - максимальная  | 30   |
| Номинальное полное давление, Па                       | 2600 |
| Полное давление в пределах рабочей области, Па:       |      |
| - минимальное   | 800  |
| - максимальное  | 2000 |
| Максимальный полный КПД, не менее                     | 0,72 |
| Частота вращения, мин <sup>-1</sup>                   | 1480 |
| Мощность электропривода, кВт                          | 1100 |
| Габаритные размеры, мм:                               |      |
| - длина   | 2280 |
| - ширина  | 1350 |
| - высота  | 1750 |
| Масса вентилятора, кг, не более                       | 2200 |

### Вентилятор ВМЭ2-10

Вентилятор ВМЭ2-10 (рисунок 6) предназначен для нагнетательного проветривания подземных тупиковых выработок по гибким или жестким вентиляционным трубопроводам в шахтах, опасных по газу и пыли, а также для проветривания туннелей. Обеспечивает эффективное проветривание выработок сечением до 20м<sup>2</sup>, протяженностью до 2000м.



Рисунок6 – Вентилятор ВМЭ2-10

Конструкция осевого рабочего колеса с меридиональным ускорением потока в сочетании с противосрывным устройством обеспечивает высокие аэродинамические показатели вентилятора: устойчивую напорную характеристику в широком диапазоне подачи воздуха, высокий КПД при хороших шумовых характеристиках.

Вентилятор снабжен двумя рабочими колесами, закрепленными консольно на роторе электродвигателя, оснащен глушителем шума.

Параметры вентилятора ВМЭ2-10 приведены в табл. 1.3.

Таблица3 – Параметры вентилятора ВМЭ2-10

|  |      |
|--|------|
| Диаметр рабочего колеса, мм                        | 1000 |
| Номинальная полезная гидромощность, кВт            | 72   |
| Номинальная подача, м <sup>3</sup> с <sup>-1</sup> | 15   |
| Номинальное полное давление, даПа                  | 480  |
| Максимальный полный КПД                            | 0,7  |
| Частота вращения, мин <sup>-1</sup>                | 1500 |
| Мощность электропривода, кВт                       | 110  |
| Габаритные размеры, мм:                            |      |
| - ширина   | 1200 |
| - высота   | 1500 |
| Масса, кг  | 2000 |

## Вентилятор ВМЭВО – 7.1 А

Вентилятор шахтный местного проветривания ВМЭВО – 7.1 А (рисунок 7) осевой со встроенным взрывозащищенным электродвигателем предназначен для проветривания тупиковых горных выработок в угольных и рудных шахтах, включая опасные по газу и пыли, посредством подачи воздуха по гибкому или жесткому трубопроводу, главным образом, диаметром 1,0м и длиной до 2500м, а также может быть использован для трубопроводов 0,8м при длинах до 1500м. Применяется также при проходке тоннелей и штолен.



Рисунок7 – Вентилятор ВМЭВО-7.1 А

Таблица4 – Параметры вентилятора ВМЭВО-7.1 А

|   |      |
|---|------|
| Диаметр рабочего колеса, мм             | 710  |
| Номинальная полезная гидромощность, кВт | 72   |
| Номинальная подача, м <sup>3</sup> с    | 11   |
| Номинальное полное давление, даПа       | 3900 |
| Максимальный полный КПД                 | 0,79 |
| Частота вращения, мин <sup>-1</sup>     | 2950 |
| Мощность электропривода, кВт            | 55   |
| Габаритные размеры, мм:                 |      |
| - ширина                                | 980  |
| - высота                                | 1120 |
| Масса, кг                               | 750  |

## **2. ЭЛЕКТРОПРИВОД ВЕНТИЛЯТОРОВ**

### **2.1. Способы управления воздушным потоком**

Специфика горного предприятия предполагает постоянное изменение его параметров аэрологического характера. На нормально работающей шахте постоянно меняется число очистных и проходческих забоев, отрабатываются вскрытые и вскрываются новые пласты и рудные тела, изменяется глубина разработок, изменяется газообильность выработок (чаще всего в сторону увеличения), изменяется технология и другие параметры. Все это приводит к необходимости изменения количества воздуха, поступающего в шахту. Последнее, несомненно, вызывает необходимость изменения производительности вентилятора, т.е. к регулировке его режима. Необходимость в регулировании вентилятора может возникнуть при кардинальном изменении исходных параметров, связанном с появлением на шахте новых горизонтов, новых участков или воздействии других важных факторов – такие изменения происходят на предприятии не часто и, как правило, успешно прогнозируются. Сезонные изменения режимов вентилятора чаще всего возникают в связи с необходимостью компенсации изменений естественной тяги. Текущие регулировки режимов вентилятора предусматривают необходимость регулирования в связи с проведением некоторых технологических процессов (взрывные работы, перегон машин с ДВС, сбой в схеме вентиляции шахты и т.п.). Наилучшим вариантом текущего регулирования является полная автоматизация системы вентиляции горного предприятия.

В условиях эксплуатации часто требуется, чтобы установка обеспечивала такой диапазон режимов работы, который невозможно получить с помощью характеристики, соответствующей фиксированным углам установки лопастей вентилятора и принятой частоте вращения рабочего колеса. В этих условиях выполняется регулирование вентилятора одним из следующих способов:

- изменение частоты вращения лопастного колеса;
- поворот лопастей рабочего колеса;
- поворот лопаток входного направляющего аппарата;
- дросселирование.

Последний способ регулирования, самый неэкономичный, так как затраты мощности мало изменяются при уменьшении подачи.

Применение способа регулирования поворотом лопастей рабочего колеса определяется двумя факторами: безопасностью работы и экономичностью (при параллельном включении учитывается также устойчивость работы).

Вентиляторы с поворотными лопастями колес обладают способностью значительной (до 50%) регулировки подачи, с сохранением при этом оптимального значения КПД. Однако при этом способе регулирования требуется вентилятор особой конструкции, позволяющей изменять в известных пределах угол установки лопастей его рабочего колеса. Практически изменение угла поворота происходит в диапазоне от 15 до 45°.

Регулирование поворотом лопаток направляющего аппарата является довольно эффективным способом регулирования, так как при этом достигается значительное изменение потребляемой вентилятором мощности. Этим пользуются при запуске в работу больших вентиляторов. Однако нужно отметить, что применение этого способа регулирования оправдано только при достаточно больших углах установки лопастей рабочего колеса (более 30°). При малых углах установки изменение характеристик давления нагнетателей незначительно и эффект регулирования подачи резко снижается.

Регулирование поворотом лопаток спрямляющего аппарата (СА) не рекомендуется, так как оно сводится к простому дросселированию и не влияет на мощность нагнетателя.

**Дросселирование** — широко распространен, но самый неэкономичный способ регулирования вентиляторов, заключающийся в искусственном введении в сеть дополнительного сопротивления (шибера или др.). При этом

сопротивление сети увеличивается, поэтому характеристика ее становится более крутой и рабочая точка вентилятора передвигается из положения А по характеристике вентилятора влево вверх, определяя новые значения параметров — положения Б и В и т.д. Дросселирование уменьшает мощность на валу электродвигателя и вместе с тем повышает долю энергии, расходуемой при регулировании вентиляторов (бесполезные потери давления на шибореАРТ). Чем глубже процесс регулирования вентиляторов, тем более непроизводительна затрата мощности.

Не всегда удастся добиться необходимого диапазона регулирования за счет применения исключительно механических мер – изменением угла наклона лопаток или количеством лопаток. В таких случаях применение преобразователей частоты помогает снижать затраты не только на электроэнергию, но и на обслуживание механического оборудования [7].

## 2.2. Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя

Рассмотрим возможные способы регулирования скорости асинхронных двигателей. Скорость двигателя определяется двумя параметрами: скоростью вращения электромагнитного поля статора  $\omega_0$  и скольжением  $s$ :

$$\begin{aligned}\omega &= \omega_0 - s_{abc} \\ \omega &= \omega_0 - \omega_0 s\end{aligned}\quad (2.0)$$

Исходя из (1) принципиально возможны два способа регулирования скорости: регулирование скорости вращения поля статора и регулирование скольжения при постоянной величине  $\omega_0$ .

Скорость вращения поля статора определяется двумя параметрами: частотой напряжения, подводимого к обмоткам статора  $f_1$ , и числом пар полюсов двигателя  $p_n$ . В соответствии с этим возможны два способа регулирования скорости: изменение частоты питающего напряжения посредством преобразователей частоты, включаемых в цепь статора двигателя (частотное регулирование), и путем изменения числа пар полюсов двигателя.

### 2.2.1. Частотное регулирование

Принципиальная возможность регулирования угловой скорости асинхронного двигателя изменением частоты питающего напряжения вытекает из формулы  $\omega = 2\pi f_1 (1 - s)/p$ . При регулировании частоты также возникает необходимость регулирования амплитуды напряжения источника, что следует из выражения  $U_1 \approx E_1 = k\Phi f_1$ . Если при неизменном напряжении изменять частоту, то поток будет изменяться обратно пропорционально частоте. Так, при уменьшении частоты поток возрастет, и это приведет к насыщению стали машины и как следствие к резкому увеличению тока и превышению температуры двигателя; при увеличении частоты поток будет уменьшаться и как следствие будет уменьшаться допустимый момент.

Для наилучшего использования асинхронного двигателя при регулировании угловой скорости изменением частоты необходимо регулировать напряжение одновременно в функции частоты и нагрузки, что реализуемо только в замкнутых системах электропривода. В разомкнутых системах напряжение регулируется лишь в функции частоты по некоторому закону, зависящему от вида нагрузки.

Частотное регулирование угловой скорости электроприводов переменного тока с двигателями с короткозамкнутым ротором находит все большее применение в различных отраслях техники. Например, в установках текстильной промышленности, где с помощью одного преобразователя частоты, питающего группу асинхронных двигателей, находящихся в одинаковых условиях, плавно и одновременно регулируются их угловые скорости. Примером другой установки с частотно-регулируемыми асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором могут служить транспортные рольганги в металлургической промышленности, некоторые конвейеры и др.

При изменении частоты вращения вентилятора, работающего в заданной сети, рабочий режим вентилятора смещается вдоль характеристики сети. В соответствии с формулами при изменении частоты вращения в  $m$  раз, производительность вентилятора изменится в  $m$  раз, создаваемое давление - в

$m^2$ раз, потребляемая мощность - в  $m^3$ раз. КПД вентилятора остается неизменным (рисунок 12). Данный способ регулирования является наиболее экономически выгодным.

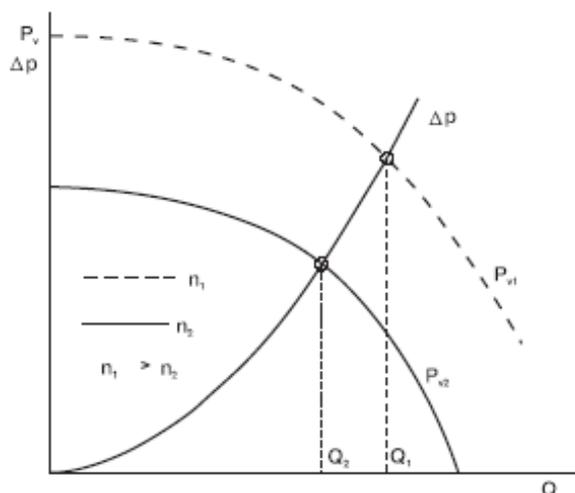


Рисунок 12 – рабочий режим вентиляторной установки

Преобразователи частоты можно разделить на электромашинные и вентильные. В свою очередь электромашинные преобразователи могут быть выполнены с промежуточным звеном постоянного тока и непосредственной связью. В последних используют коллекторную машину переменного тока, на вход которой подают переменное напряжение с постоянной частотой и амплитудой, а на выходе ее получают напряжение с регулируемой частотой и амплитудой. Электромашинные преобразователи с непосредственной связью практического применения не получили.

Основными достоинствами системы частотного регулирования электропривода являются:

- плавность регулирования и высокая жесткость механических характеристик, что позволяет регулировать скорость в широком диапазоне;
- экономичность регулирования, определяемая тем, что двигатель работает с малыми величинами абсолютного скольжения, и потери в двигателе не превышают номинальных.

Недостатками частотного регулирования являются сложность и высокая стоимость (особенно для приводов большой мощности) преобразователей частоты и сложность реализации в большинстве схем режима рекуперативного торможения.

### **2.3. Функциональная схема ЭП вентилятора**

Вентиляторы являются механизмами с режимом длительной нагрузки с большой продолжительностью работы в течение года; нагрузка на валу приводного двигателя спокойная, перегрузок не возникает.

Необходимый диапазон регулирования скорости для вентиляторов обычно не превышает 2:1. Более глубокое регулирование используется редко, если учитывать кубическую зависимость потребляемой мощности от частоты вращения.

Перечисленным требованиям наиболее полно соответствует частотно-регулируемый асинхронный электропривод вентилятора. При этом, как правило, можно ограничиться использованием простых и недорогих систем частотного регулирования. Функциональная схема частотно-регулируемого электропривода приведена на рисунке 13.

С целью обеспечения требуемого момента во время пуска должна быть предусмотрена возможность настройки вольт – частотной и регулирования времени разгона и торможения. Определяя параметры вольт – частотной характеристики, нижним частотам ставят в соответствие значения напряжений выше, чем при выбранном законе регулирования. Регулирование времени разгона/торможения достигается применением задатчика интенсивности.

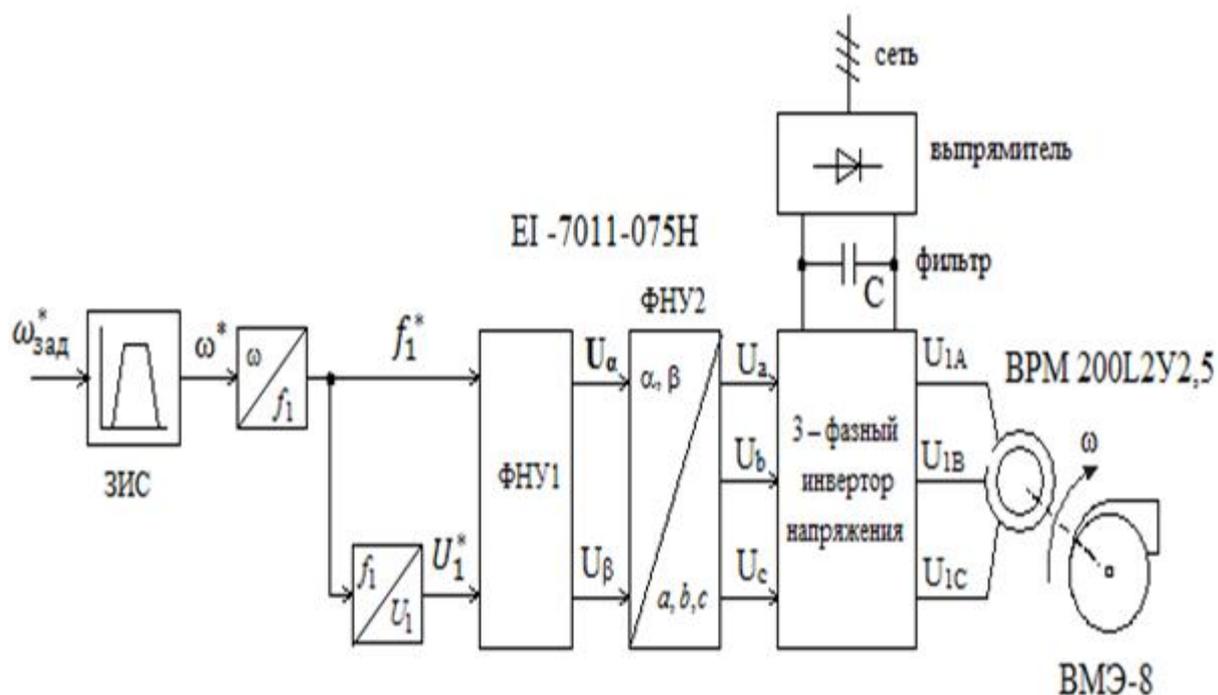


Рисунок 13 – Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

В состав электропривода входят: преобразователь частоты VLT 2855, асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором 4A112M4 и радиальный вентилятор низкого давления ВР 80-75-6,3. Настраиваемыми параметрами электропривода являются: тип и параметры датчика интенсивности скорости (ЗИС), значение минимальной частоты преобразователя  $f_{\text{мин}}$ , закон регулирования  $U_1/f_1$  и коррекция вольт-частотной характеристики.

### 3. ВЫБОР И РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

#### 3.1. Вентилятор осевой шахтный ВМЭ-8

Шахтные вентиляторы относятся к разряду специальных, область применения которых не предусматривает вентиляционные системы промышленных или общественных зданий. Эти вентиляторы предназначены для распространения воздуха и различных примесей в нем, как взрывоопасных, так и агрессивных. Для местных вентиляторов существует ряд особых требований: компактность, взрывобезопасность, минимальная масса, простота в обслуживании и транспортабельность. Шахтные осевые вентиляторы устанавливаются в вентиляционных системах подземных разработок (шахты, рудники).

**Вентилятор шахтный местного проветривания ВМЭ-8** осевой с электрическим приводом, одноступенчатый, взрывобезопасный, предназначен для проветривания тупиковых горных выработок в шахтах, включая опасные по газу к пыли, при плотности воздуха до 1,3 кг/м<sup>3</sup>, при температуре от -20°С до +35°С, запыленности до 50 мг/м<sup>3</sup> и относительной влажности до 95% (при температуре +25°С). По заявке потребителя вентиляторы могут поставляться на напряжение 380/660 В и 660/1140 В.

Вентиляторы устанавливаются в горизонтальном положении с допустимым отклонением их осей от горизонтали не более 30 град.

#### **Достоинства:**

Производительность вентиляторов ВМЭ-8 (660/1140 В) может регулироваться поворотом лопаток рабочего колеса;

Конструкция вентиляторов позволяет соединять последовательно два, а в отдельных случаях, когда этого требует длина и сопротивление трубопровода, три вентилятора.

Лопатки вентилятора выполнены из негорючих материалов.

Возможность отключения вентилятора при превышении нормальной температуры.

Современная аэродинамическая схема с меридиональным ускорением потока, обеспечивающая более высокий КПД и экономичность работы;

Противосрывное устройство, которое устраняет помпажные режимы работы, расширяет область промышленного использования вентилятора и обеспечивает высокую надежность;

Простое и надежное регулирование режимов работы сменными венцами рабочего колеса;

Облегченное рабочее колесо, увеличивающее долговечность и надежность работы двигателя и вентилятора;

Оригинальное крепление сменных венцов поворотными клиновыми зажимами, исключая резьбовые детали, которые подвержены коррозии;

Безопасность работы, легкость обслуживания и доступа ко всем частям вентилятора;

Низкий уровень шума благодаря применению оригинального спрямляющего аппарата;

По требованию заказчика вентилятор может быть укомплектован глушителем шума.

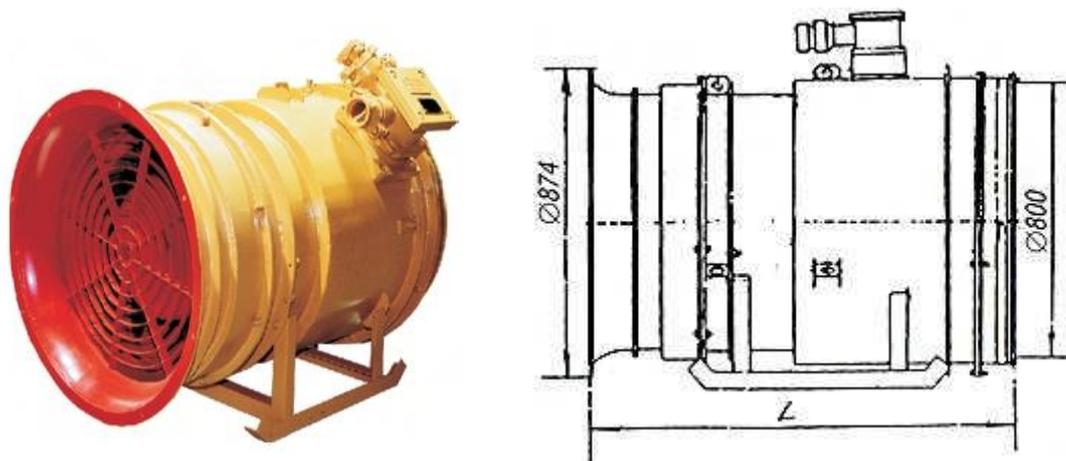


Рисунок 14 – Вентилятор осевой шахтный ВМЭ-8

Таблица 5 Технические характеристики вентилятора ВМЭ – 8

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| Номинальный диаметр, мм               |   |
| Частота вращения, об/мин              |   |
| Мощность электродвигателя, кВт        |   |
| Максимальный полный КПД               |   |
| Номинальное полное давление, Па       |   |
| Номинальная подача, м <sup>3</sup> /с |   |
| Длина с глушителем                    |   |
| Размеры:                              | e |
| Вес:                                  |   |

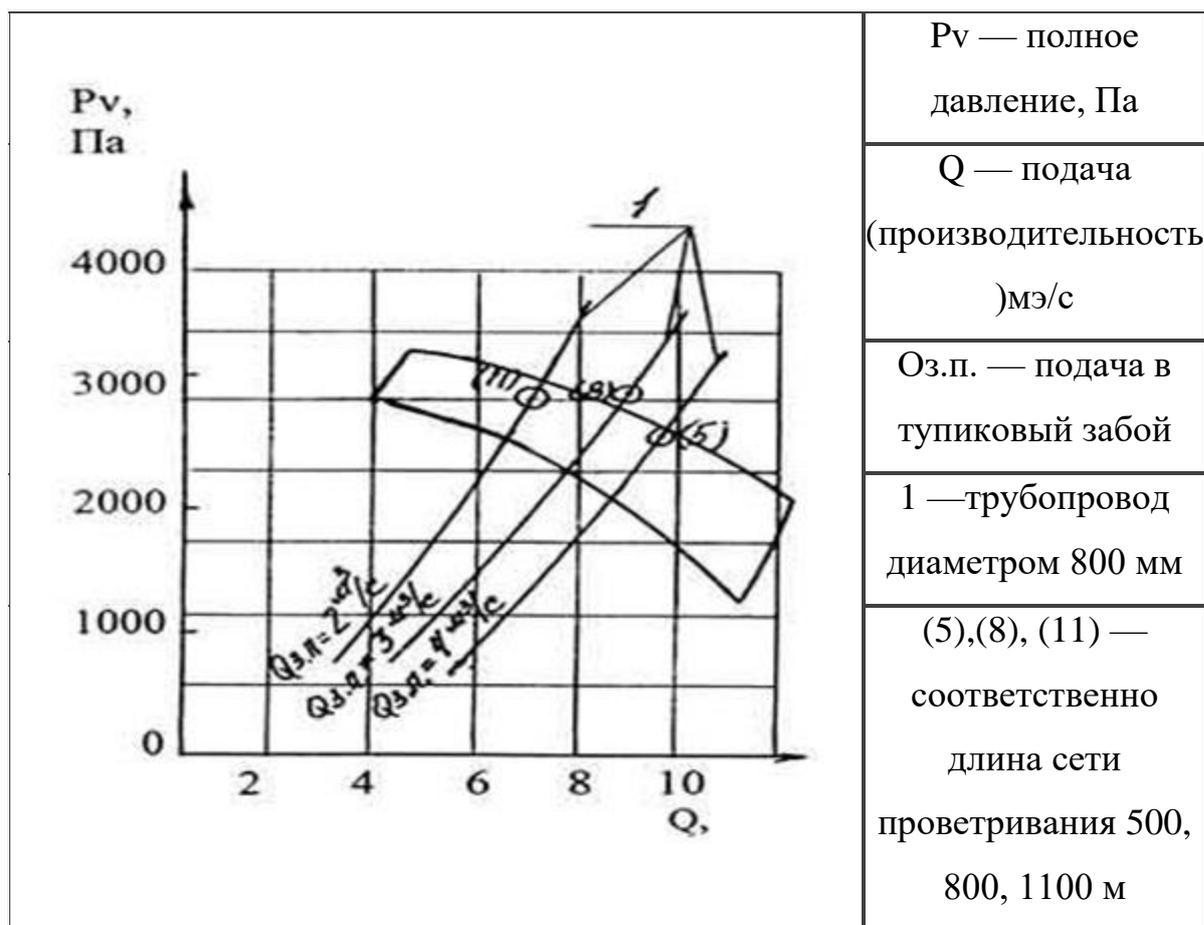


Рисунок 15 –Аэродинамические характеристики вентилятора ВМЭ-8

## 3.2 Выбор и определение параметров электродвигателя

### Двигатель ВРМ 200L2У2,5

Двигатели предназначены для работы в качестве привода вентилятора местного проветривания в угольных и сланцевых шахтах, опасных по газу или угольной пыли, а также во всех отраслях горнорудной промышленности. Буква М типе двигателя обозначает специальное исполнение для вентиляторов местного проветривания.

Двигатели предназначены для продолжительного режима работы S1 от сети переменного тока частотой 50Гц при номинальном напряжении до 660В и имеют исполнение во взрывозащите РВЗВМ для ВРМ200L2У2,5. Технические данные двигателя приведены в таблице 6.

Конструктивно двигатели выполнены на базе основного исполнения электродвигателей ВР с максимальной унификацией применяемых узлов, деталей и материалов.

Двигатели предназначены для встраивания в корпус вентилятора, к которому крепится с помощью фланца, расположенного со стороны свободного конца вала. Крепление осуществляется болтами М12. Рабочее колесо вентилятора располагается на валу электродвигателя, охлаждение которого осуществляется основным потоком воздуха, идущим от рабочего колеса вентилятора.

Обмотка ротора - литая из сплава алюминия, короткозамкнутая.

Подшипниковые щиты, крышки и детали коробки выводов выполнены из чугуна повышенной прочности. Коробка выводов крепится к патрубку станины и может поворачиваться на угол, кратный  $90^{\circ}$ .

Таблица 6 – Технические данные двигателя ВРМ 200L2У2,5

| Наименование параметра                         | Значение |
|--|----------|
| Полезная мощность, $P_{2H}$ , (кВт)            | 50       |
| Скольжение, $s$ (%)                            | 2,3      |
| Номинальная частота вращения, $n_H$ , (об/сек) | 2930     |
| КПД, (%)                                       | 91       |
| Коэффициент мощности, $\cos\varphi$            | 0,88     |
| Кратность пускового момента, $KП$              | 1,7      |
| Кратность максимального момента, $KМ$          | 2,2      |
| Кратность пускового тока, $KТ$                 | 6        |

Для расчета характеристик асинхронного двигателя, как правило, пользуются его математической моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения. Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т – образная схема замещения.

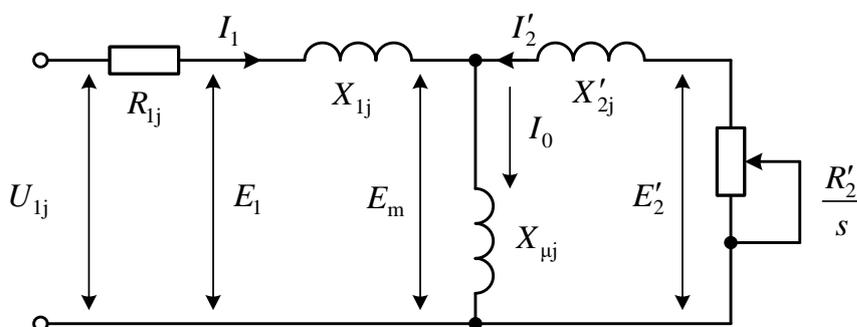


Рисунок 16 – Т-образная схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие схеме замещения:

$$\bar{U}_{1\Phi} - \bar{E}_m - jX_1\bar{I}_1 - R_1\bar{I}_1 = 0; \quad (3.2.0)$$

$$\bar{E}_m + jX_2'\bar{I}_2 + \frac{R_2'\bar{I}_2}{s} = 0; \quad (3.2.1)$$

$$\bar{I}_1 + \bar{I}_2 - \bar{I}_0 = 0 \quad (3.2.2)$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений, удовлетворяющая (3.2.0), (3.2.1) и (3.2.2) изображена на рисунке 17.

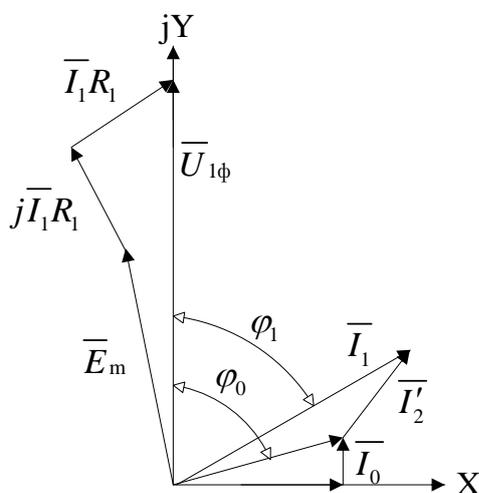


Рисунок 17 – Векторная диаграмма асинхронной машины

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1чз}^2 - \left[ I_{1H} \kappa_{чз} \frac{1-s_H}{1-\kappa_{чз} s_H} \right]^2}{1 - \left[ \kappa_{чз} \frac{1-s_H}{1-\kappa_{чз}} \right]^2}}, \quad (3.2.3)$$

$$I_0 = \sqrt{\frac{47,49^2 - \left[ 94,98 \cdot 0,5 \frac{1-0,023}{1-0,75 \cdot 0,023} \right]^2}{1 - \left[ 0,5 \cdot \frac{1-0,023}{1-0,5} \right]^2}} = 11,34 \text{ A.}$$

$\cos \varphi_{чз}, \eta_{чз}$  – коэффициент мощности и КПД двигателя при частичной нагрузке;  $\kappa_{чз} = P_{чз} / P_H$  – коэффициент частичной нагрузки двигателя.

Коэффициент мощности и КПД при частичной нагрузке в технической литературе приводятся редко, а для целого ряда серий электрических машин такие данные в справочной литературе отсутствуют. Эти параметры можно

определить, руководствуясь следующими соображениями: современные асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при загрузке на 10 – 15% меньшей номинальной. Двигатели рассчитываются так потому, что большинство из них в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с некоторой недогрузкой. Поэтому КПД при номинальной нагрузке и нагрузке  $r = 0,5$  практически равны между собой.

Номинальный ток статора двигателя:

$$(3.2.4) \quad I_{1H} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta_H}$$

$$I_{1H} = \frac{50 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88 \cdot 0,91} = 94,6 \text{ A};$$

Ток статора двигателя при частичной загрузке:

$$(3.2.5) \quad I_{1чз} = \frac{\kappa_{чз} \cdot P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_{чз} \cdot \eta_{чз}}$$

$$I_{1чз} = \frac{0,5 \cdot 50 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88 \cdot 0,91} = 47,78$$

Критическое скольжение:

$$(3.2.6) \quad s_{KP1} = s_H \frac{\left[ K_M + \sqrt{K_M^2 - [1 - 2s_H \beta (K_M - 1)]} \right]}{1 - 2s_H \beta (K_M - 1)};$$

$$s_{KP1} = 0,023 \frac{\left[ 2,2 + \sqrt{2,2^2 - [1 - 2 \cdot 0,023 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)]} \right]}{1 - 2 \cdot 0,023 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,1$$

где  $\beta$  – вспомогательный коэффициент (на начальном этапе принимаем  $\beta = 1$ ,

в дальнейшем  $\beta$  может принимать диапазон значений от 0,6 до 2,5).

Далее по приведённым выражениям необходимо определить ряд промежуточных коэффициентов.

Определим коэффициент пропорциональности  $C_1$ :

$$(3.2.7) \quad C_1 = \frac{I_0}{2K_T I_{1H}} + 1;$$

$$C_1 = \frac{31,74}{2 \cdot 6 \cdot 94,98} + 1 = 1,01;$$

Определим значение  $A_1$ :

$$(3.2.8) \quad A_1 = 3U_{\Phi H}^2 \frac{1 - s_H}{2C_1 K_M P_H};$$

$$A_1 = 3 \cdot 220^2 \frac{1 - 0,023}{2 \cdot 1,028 \cdot 2,2 \cdot 50 \cdot 10^3} = 0,63.$$

Значение активного сопротивления цепи ротора, приведенного к обмоткам статора  $R_2'$ :

$$(3.2.9) \quad R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_k}\right) \cdot C_1};$$

$$R_2' = \frac{0,63}{\left(1 + \frac{1}{0,1}\right) \cdot 1,01} = 0,058 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статора обмотки:

$$(3.2.10) \quad R_1 = C_1 R_2' \beta;$$

$$R_1 = 1,028 \cdot 0,058 \cdot 1 = 0,059 \text{ Ом.}$$

Параметр  $\gamma$ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания  $X_{KH}$

$$(3.2.11) \quad \gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_k^2}\right) - \beta^2};$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{0,1^2} - 1^2} = 9,79$$

Если значение  $\gamma$  отрицательно, то необходимо изменить первоначальное принятое значение  $\beta$ .

Индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$(3.2.11) \quad X_{KH} = \gamma C_1 R_2';$$

$$X_{KH} = 9,79 \cdot 1,01 \cdot 0,058 = 0,57 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной, определяется:

$$(3.2.12) \quad X_2' = 0,58 \frac{X_{KH}}{C_1};$$

$$X_2' = 0,58 \cdot \frac{0,57}{1,01} = 0,33 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки:

$$(3.2.13) \quad X_1 = 0,42 \cdot X_{KH};$$

$$X_1 = 0,42 \cdot 0,57 = 0,25 \text{ Ом.}$$

По найденным значениям  $C_1$ ,  $R_2'$  и  $X_{KH}$  определяется критическое скольжение:

$$(3.2.14) \quad s_{кр2} = \frac{C_1 R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}},$$

$$s_{кр2} = \frac{1,01 \cdot 0,058}{\sqrt{0,058^2 + 0,57^2}} = 0,1.$$

Рассчитанные значения  $s_{кр1}$  и  $s_{кр2}$  равны.

ЭДС ветвина намагничивания  $E_1$ , наведенную потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме:

$$(3.2.15) \quad E_1 = \sqrt{(U_{\phi H} \cos \varphi_H - R_1 I_{1H})^2 + (U_{\phi H} \sin \varphi_H + X_1 I_{1H})^2};$$

$$E_1 = \sqrt{(220 \cdot 0,88 - 0,059 \cdot 94,98)^2 + (220 \cdot 0,47 + 0,25 \cdot 94,98)^2} = 204,97 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания:

$$(3.2.16) \quad X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0},$$

$$X_{\mu} = \frac{204,97}{31,74} = 18,08 \text{ Ом.}$$

Таблица 7 – Рассчитанные параметры схемы замещения асинхронного двигателя.

| $R_1$<br>Ом | $X_1$<br>Ом | $L_1$<br>мГн | $X_{\mu}$<br>Ом | $L_m$<br>Гн | $R'_2$<br>Ом | $X'_2$<br>Ом | $L'_2$<br>мГн | $X_{кн}$<br>Ом |
|-------------|-------------|--------------|-----------------|-------------|--------------|--------------|---------------|----------------|
| 0,059       | 0,25        | 0,79         | 18,08           | 0,018       | 0,058        | 0,33         | 1,05          | 0,57           |

### 3.2.1. Электромеханические и механические характеристики асинхронного двигателя ВРМ 200L2У2,5

Синхронная угловая скорость двигателя:

$$(3.2.17) \quad \omega_0 = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2\pi \cdot 50}{1} = 314,16 \text{ рад/с.}$$

Характерные точки электромеханической характеристики.

Номинальный режим:

$$\omega_n = \omega_0(1 - s_n) = 314,16 \cdot (1 - 0,023) = 306,93 \text{ рад/с.} \quad (3.2.18)$$

$$(3.2.19) \quad M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{50000}{306,93} = 162,9 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Режим короткого замыкания (режим пуска):

$$I_n = k_T \cdot I_H = 7 \cdot 94,6 = 662,2 \text{ А.} \quad (3.2.20)$$

Определим зависимость тока ротора  $I'_2$  приведенного к обмотке статора, от скорости  $\omega$ :

$$I'_2(\omega) = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left( R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + (X_{1H} + X'_{2H})^2}}. \quad (3.2.21)$$

График электромеханической характеристики, рассчитанный по формуле (3.2.21) в математической системе MathCAD, приведен на рисунке 18.

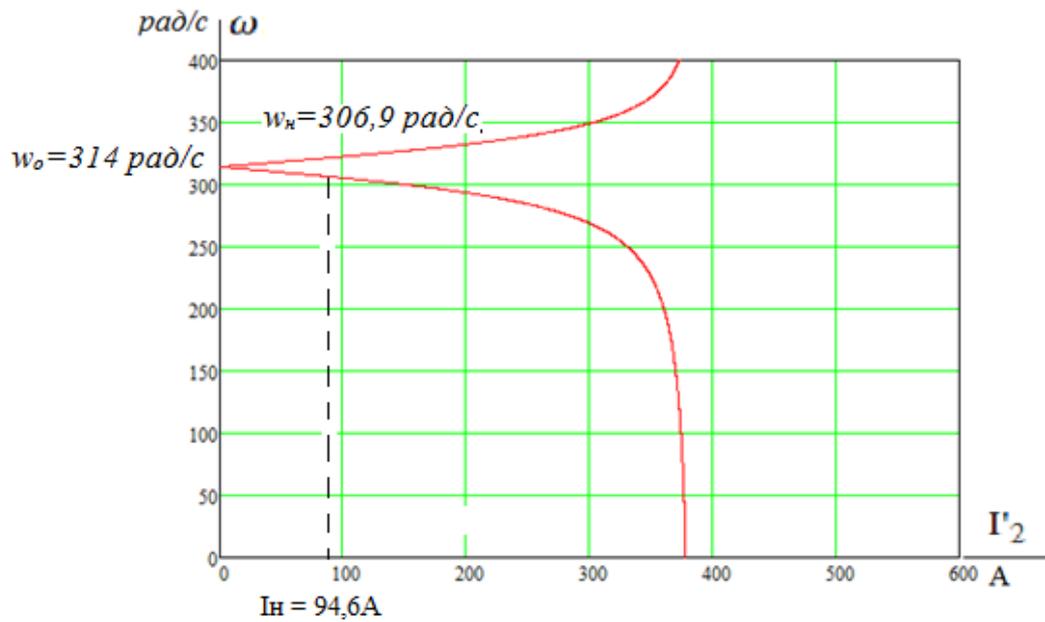


Рисунок 18 – График электромеханической характеристики  $I'_2 = f(\omega)$

Электро­механическую характеристику  $I_1 = f(\omega)$  рассчита­ем по выра­жению (3.2.22) с учетом тока  $I'_2$ , найденного по уравнению (3.2.21), тогда

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I'_2(\omega)^2 + 2I_0 I'_2(\omega) 0.673}; \quad (3.2.22)$$

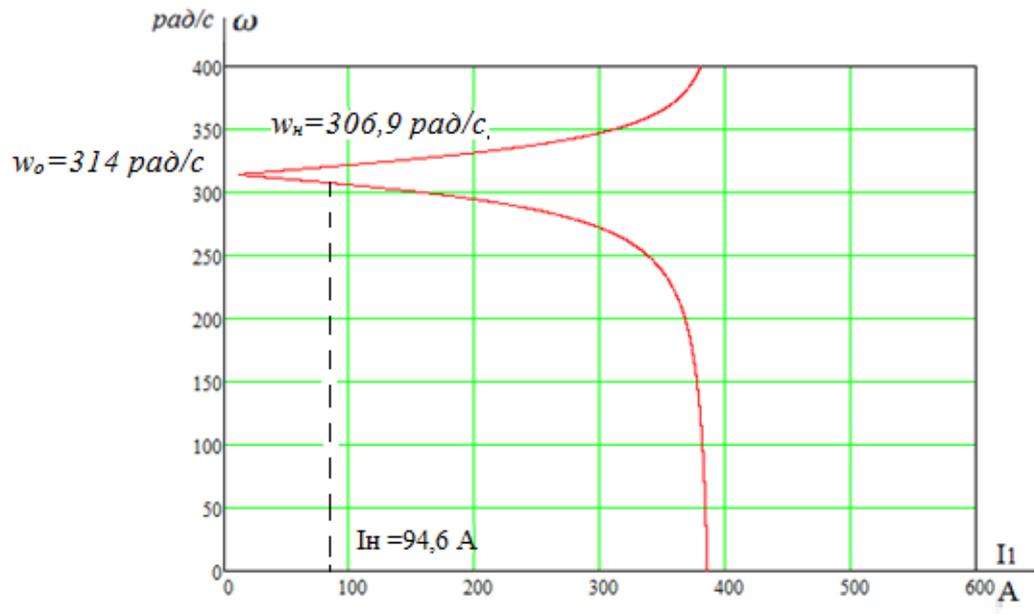


Рисунок 19 – График естественной электро­механической характеристики  $I_1 = f(\omega)$  асинхронного двигателя

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя  $M(\omega)$  рассчитывается по выражению:

$$M(\omega) = \frac{3U_{1H}^2 R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \left[ \left( R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{KH}^2 \right]}. \quad (3.2.23)$$

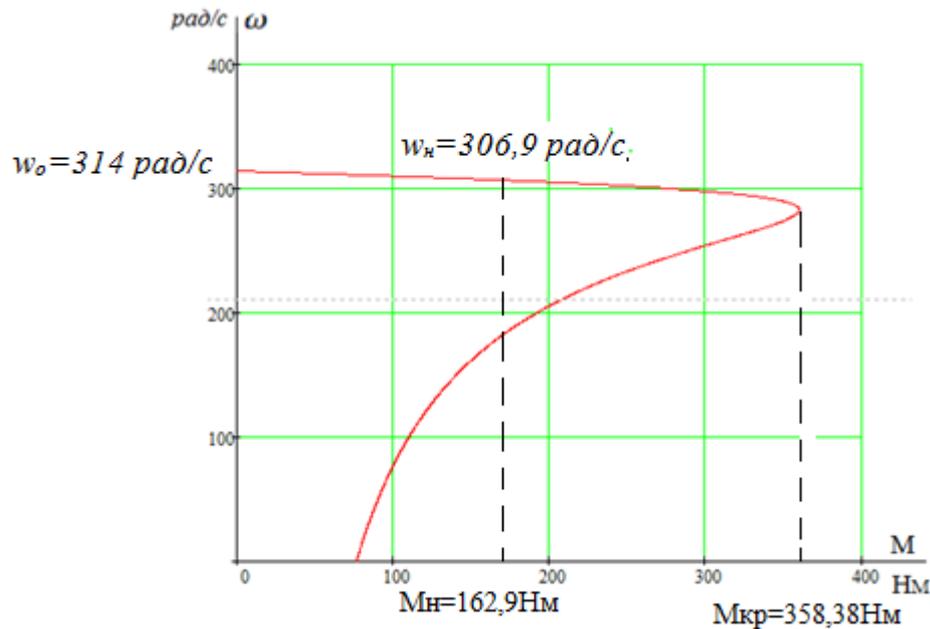


Рисунок 20. – Естественная механическая характеристика двигателя

Поскольку механические характеристики двигателя рассчитаны для электромагнитного момента, то полная нагрузка на валу электродвигателя должна учитывать собственный момент трения двигателя. Момент от сил трения на валу электродвигателя можно принять постоянным и равным

$$M_{сдв} = M_{эмн} - M_{двн} = 166.387 - 162.9 = 3.487, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (3.2.24)$$

$$M_{\text{эм.н}} = \frac{3 \cdot U_{\text{лфн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \cdot \left[ X_{\text{кн}}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.058}{157 \cdot 0.023 \cdot \left[ 0.57^2 + \left( 0.059 + \frac{0.058}{0.023} \right)^2 + \left( \frac{0.059 \cdot 0.058}{0.023 \cdot 18.07} \right)^2 \right]} = 166,387 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

– номинальный электромагнитный момент двигателя.

Момент постоянных потерь на валу вентилятора

$$\Delta M_{\text{пост}} = K \cdot M_{\text{полн}} = 0.049 \cdot 162.9 = 8.06 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\Delta M_{\text{с}} = M_{\text{с дв}} + \Delta M_{\text{пост}} = 3.487 + 8.06 = 11.54 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

момент сопротивления от сил трения, приведенный к валу двигателя:

(3.2.25)

Коэффициент потерь при работе вентилятора с  $\eta_{\text{н}} = 0.91$

$$K = \frac{1 - \eta_{\text{н}}}{2 \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{1 - 0.91}{2 \cdot 0.91} = 0,049 \quad (3.2.26)$$

Выражение для механической характеристики полного момента сопротивления на валу электродвигателя в общем случае имеет вид

$$M_{\text{сi}}(\omega) = \Delta M_{\text{с}} + (1 + b_i) \cdot M_{\text{полн } i} \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_{\text{н}}} \right)^{x_i}, \quad (3.2.27)$$

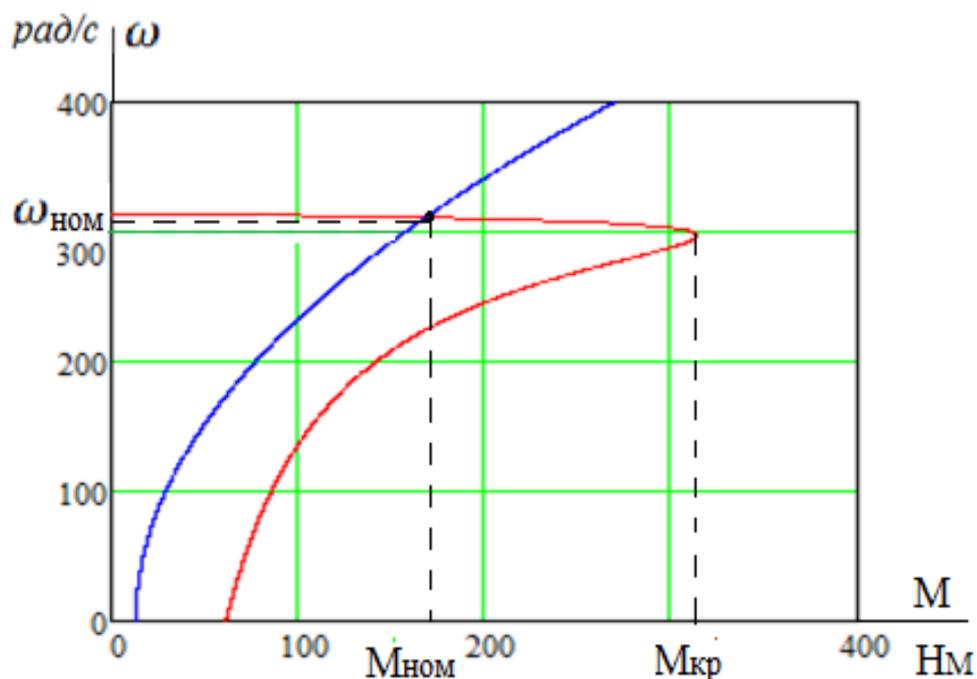


Рисунок 21. – Естественная механическая характеристика двигателя  $\omega(M)$  и характеристика полного момента сопротивления на валу

### 3.2.2. ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ВЕНТИЛЯТОРНОЙ НАГРУЗКОЙ В ПРОГРАММЕ MATLAB (SIMULINK)

Для проверки правильности расчета параметров выбранного асинхронного двигателя исследуем ее в программе MATLAB (simulink). Модель асинхронного двигателя получена из раздела библиотеки SimPowerSistem. На рисунке 22 представлена схема моделирования процесса пуска асинхронного короткозамкнутого двигателя с вентиляторной нагрузкой в соответствии с выражением 36. Рассчитанные параметры асинхронного двигателя были приведены в таблице 7.

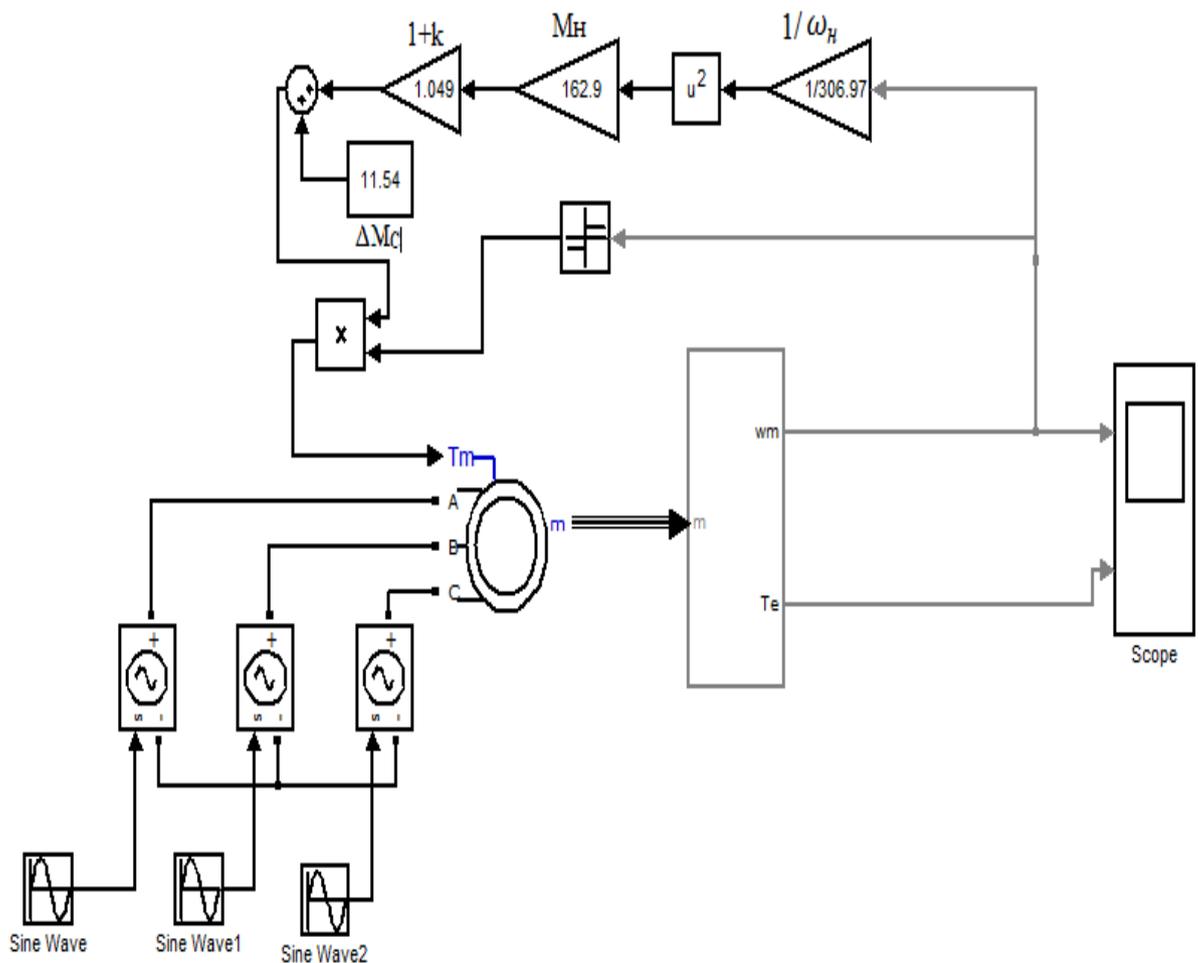


Рисунок 22 – Модель электропривода переменного тока с вентиляторной нагрузкой

Результаты моделирования процессов пуска двигателя представлены на рисунке 23. На временном отрезке от 0 до 2,4 с на двигатель подается напряжение и двигатель разгоняется скоростью 306,93  $\omega/\text{рад}\cdot\text{с}$  под нагрузкой 162,9 Н·М.

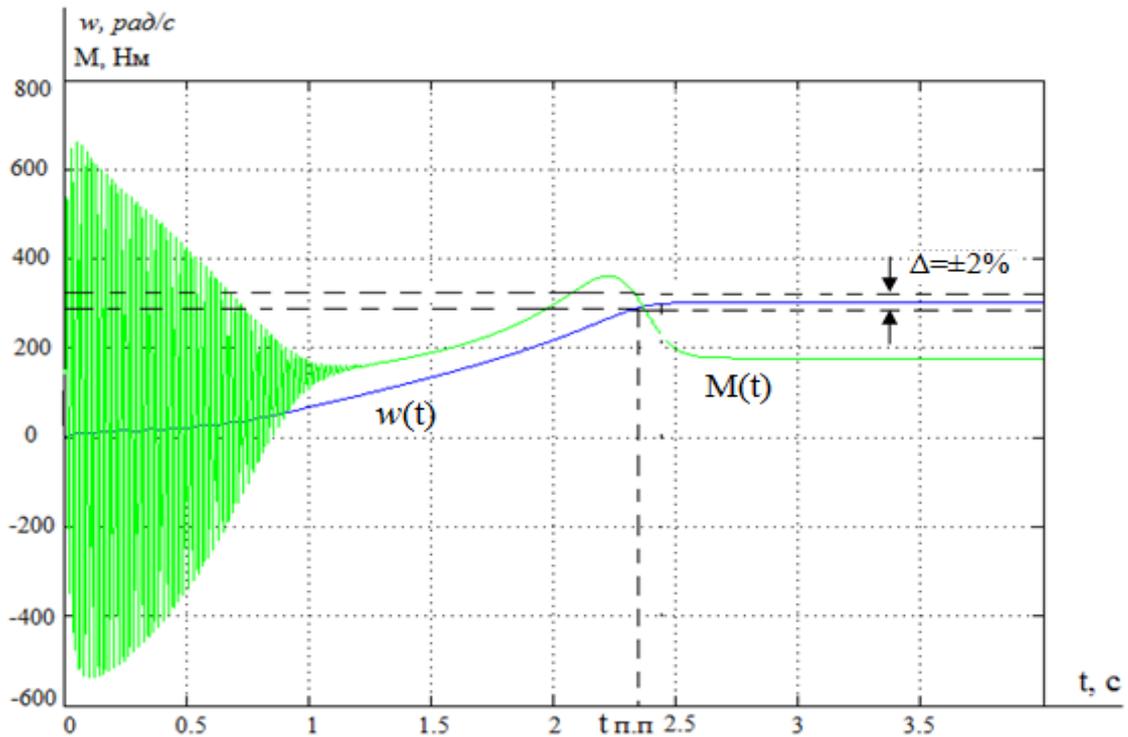


Рисунок 23 – Переходные процессы пуска асинхронного двигателя под нагрузкой.

### 3.2.3. Математическое описание, структурные схемы и моделирование обобщенной асинхронной машины.

Обобщенная асинхронная машина показана на рисунке 0. Она содержит трехфазную обмотку на статоре и трехфазную обмотку на роторе. Обмотки статора и ротора подключены к симметричным трехфазным источникам напряжения. Математическое описание такой машины базируется на известных законах.

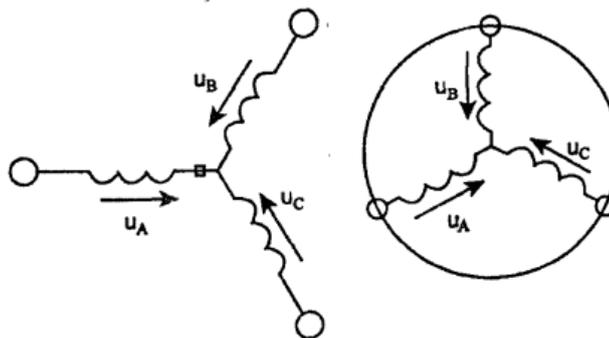


Рисунок 24 – обобщенная асинхронная машина

Уравнение равновесия ЭДС на обмотках статора и ротора в соответствии со 2 законом Кирхгофа запишутся в виде:

Для статора: Для ротора:

$$\begin{aligned}
 U_A &= R_A I_A + \frac{d\psi_A}{dt}, U_a = R_a I_a + \frac{d\psi_a}{dt}, \\
 U_b &= R_b I_b + \frac{d\psi_b}{dt}, U_B = R_B I_B + \frac{d\psi_B}{dt}, (3.2.28) \\
 U_c &= R_c I_c + \frac{d\psi_c}{dt}, U_C = R_C I_C + \frac{d\psi_C}{dt}.
 \end{aligned}$$

В уравнениях (3.2.28) фигурирует мгновенное напряжения, токи и потокосцепления статора и ротора, а также активные сопротивления обмоток. Обычно обмотки выполняются симметричными и поэтому  $R_A=R_B=R_C=R_S$  – активное сопротивление статорной обмотки,  $R_a=R_b=R_c=R_R$  – активное сопротивление роторной обмотки.

В уравнениях (3.2.28) потокосцепление обмоток статора и ротора находятся на основе закона Ампера:

Для статора:

$$\begin{aligned}
 \psi_A &= L_{AA}i_A + L_{AB}i_B + L_{AC}i_C + L_{Aa}i_a + L_{Ab}i_b + L_{Ac}i_c \\
 \psi_B &= L_{BA}i_A + L_{BB}i_B + L_{BC}i_C + L_{Ba}i_a + L_{Bb}i_b + L_{Bc}i_c \\
 \psi_C &= L_{CA}i_A + L_{CB}i_B + L_{CC}i_C + L_{Ca}i_a + L_{Cb}i_b + L_{Cc}i_c (3.2.29)
 \end{aligned}$$

Для Ротора:

$$\begin{aligned}
 \psi_a &= L_{aA}i_A + L_{aB}i_B + L_{aC}i_C + L_{aa}i_a + L_{ab}i_b + L_{ac}i_c \\
 \psi_b &= L_{bA}i_A + L_{bB}i_B + L_{bC}i_C + L_{ba}i_a + L_{bb}i_b + L_{bc}i_c \\
 \psi_c &= L_{cA}i_A + L_{cB}i_B + L_{cC}i_C + L_{ca}i_a + L_{cb}i_b + L_{cc}i_c
 \end{aligned}$$

Уравнение для определения потокосцепления показывают, что потокосцепление каждой обмотки зависит от токов во всех обмотках. Эти зависимости проявляются через взаимоиנדукцию. В уравнениях (38)  $L_{AA}, L_{BB}, L_{CC}, L_{aa}, L_{bb}, L_{cc}$  являются собственными индуктивностями

соответствующих обмоток, все остальные – являются взаимными индуктивностями между соответствующими обмотками.

Уравнение равновесия моментов на валу машины определяется на основе второго закона Ньютона:

$$J \frac{d\bar{\omega}_m}{dt} = \bar{M} - \bar{M}_H \quad (3.2.30)$$

Где  $J$ (кг) – момент инерции на валу машины, учитывающий инерционность как самой машины, так и приведенной к валу инерционности рабочего механизма и редуктора,  $\bar{\omega}_m$  (рад/с) - угловая скорость вала машины,  $\bar{M}_H$  (Нм) - момент рабочего механизма, приведенной к валу, который в общем случае может быть функцией скорости и угла поворота.

Электромагнитный момент машины в уравнении (3.2.30) находится на основании закона, сформулированного Ленцем, как правила левой руки. Этот закон связывает векторные величины момента, потокосцепления и тока:

$$\bar{M} = k(\bar{\psi} \times \vec{i}) \quad (3.2.31)$$

$$\begin{aligned} \bar{u}_S &= R_S \vec{i}_S + \frac{d\bar{\psi}_S}{dt}, \\ \bar{u}_R &= R_R \vec{i}_R + \frac{d\bar{\psi}_R}{dt}, \quad (3.2.32) \\ \bar{\psi}_S &= L_S \vec{i}_S + L_m(\theta) \vec{i}_R, \\ \bar{\psi}_R &= L_m(\theta) \vec{i}_S + L_R \vec{i}_R, \end{aligned}$$

$L_S, L_R$  – собственные индуктивности статора и ротора,  $L_m(\theta)$  - взаимная индуктивность между статором и ротором. Вместо 12 уравнений (37) – (38) получено лишь четыре уравнения (3.2.32).

Переменные коэффициенты взаимной индукции в уравнениях для потокосцепления (3.2.32) являются результатом того, что уравнения равновесия ЭДС для статора записаны в неподвижной системе координат, связанной с ротором. Метод пространственного вектора позволяет записать эти уравнения в единой системе координат, вращающейся с произвольной скоростью  $\omega_k$ . В этом случае уравнение (3.2.32) преобразуется к виду

$$\begin{aligned}
\vec{u}_S &= R_S \vec{i}_S + \frac{d\vec{\psi}_S}{dt} + j\omega_k \vec{\psi}_S, \\
\vec{u}_R &= R_R \vec{i}_R + \frac{d\vec{\psi}_R}{dt} + j(\omega_k - \omega) \vec{\psi}_R \quad (3.2.33) \\
\vec{\psi}_S &= L_S \vec{i}_S + L_m \vec{i}_R, \\
\vec{\psi}_R &= L_m \vec{i}_S + L_R \vec{i}_R,
\end{aligned}$$

В уравнениях (3.2.33) все коэффициенты являются величинами постоянными, имеют четкий смысл и могут быть определены по паспортным данным, либо экспериментально.

Момент в уравнении (3.2.31) является векторным произведением любой пары векторов. Из уравнения (3.2.32) следует, что таких пар может быть шесть:  $|\vec{i}_S, \vec{i}_R|; |\vec{\psi}_S, \vec{\psi}_R|; |\vec{i}_S, \vec{\psi}_S|; |\vec{i}_S, \vec{\psi}_R|; |\vec{i}_R, \vec{\psi}_R|; |\vec{i}_R, \vec{\psi}_S|$ .

Часто в рассмотрение вводится потокосцепление взаимной индукции. В этом случае появляется еще четыре возможности представления электромагнитного момента машины через следующие пара:  $|\vec{i}_S, \vec{\psi}_m|; |\vec{i}_R, \vec{\psi}_m|; |\vec{\psi}_S, \vec{\psi}_m|, |\vec{\psi}_R, \vec{\psi}_m|$ .

После выбора той или иной пары уравнение момента приобретает определенность. Кроме того, в уравнениях (3.2.29) и (3.2.30) векторные величины момента и скорости могут быть заменены их модульными значениями. Это является следствием того что пространственные векторы токов и потокосцеплений расположены в плоскости перпендикулярной оси вращения, а вектор момента и угловой скорости совпадают с осью.

В системах мехатроники для определения электромагнитного момента асинхронной машины, как правило, в качестве переменных состояния выбираются ток статора и потокосцепление ротора.

$$M = \frac{3}{2} p k_R \cdot \text{Mod}(\vec{\psi}_R \times \vec{i}_S). \quad (3.2.34)$$

Обобщенная система уравнений для описания асинхронной машины принимает вид:

$$\begin{aligned}
\vec{u}_S &= R_S \vec{i}_S + \frac{d\vec{\psi}_S}{dt} + j\omega_k \vec{\psi}_S, \\
\vec{u}_R &= R_R \vec{i}_R + \frac{d\vec{\psi}_R}{dt} + j(\omega_k - \omega) \vec{\psi}_R \\
\vec{\psi}_S &= L_S \vec{i}_S + L_m \vec{i}_R, \\
\vec{\psi}_R &= L_m \vec{i}_S + L_R \vec{i}_R, \\
M &= \frac{3}{2} p k_R \cdot \text{Mod}(\vec{\psi}_R \times \vec{i}_S), \\
J \frac{d\bar{\omega}_m}{dt} &= \bar{M} - \bar{M}_H
\end{aligned} \tag{3.2.35}$$

Где  $\omega = p\omega_m$ ,  $p$  – число пар полюсов.

Схема асинхронной машины с короткозамкнутым ротором получается из обобщенной схемы (рисунок 24), если обмотки ротора замкнут накоротко. При этом в общих уравнениях (3.2.35) следует положить  $\vec{u}_R = 0$ .

$$\begin{aligned}
\vec{u}_S &= R_S \vec{i}_S + \frac{d\vec{\psi}_S}{dt} + j\omega_k \vec{\psi}_S, \\
0 &= R_R \vec{i}_R + \frac{d\vec{\psi}_R}{dt} + j(\omega_k - p\omega) \vec{\psi}_R, \\
\vec{\psi}_R &= L_m \vec{i}_S + L_R \vec{i}_R, \\
M &= \frac{3}{2} p k_R \cdot \text{Mod}(\vec{\psi}_R \times \vec{i}_S), \\
J \frac{d\bar{\omega}_m}{dt} &= \bar{M} - \bar{M}_H
\end{aligned} \tag{3.2.36}$$

Преобразуем уравнение (3.2.35), исключив из них ( $\vec{i}_R$  и  $\vec{\psi}$ ). Тогда уравнение (3.2.36) после соответствующих преобразований примут вид:

$$\begin{aligned}
\vec{u}_S &= r \vec{i}_S + L'_S \frac{d\vec{i}_S}{dt} + j\omega_k L'_S \vec{i}_S - \frac{k_R}{T_R} \vec{\psi}_R + j k_R p \omega_m \vec{\psi}_R, \\
0 &= -k_R R_R \vec{i}_S + \frac{1}{T_R} \vec{\psi}_R + \frac{d\vec{\psi}_R}{dt} + j(\omega_k - \omega) \vec{\psi}_R, \\
M &= \frac{3}{2} p k_R \cdot \text{Mod}(\vec{\psi}_R \times \vec{i}_S), \\
J \frac{d\bar{\omega}_m}{dt} &= M - M_H
\end{aligned} \tag{3.2.36}$$

Где:

$$r = (R_S + K_R^2 \cdot R_R);$$

$$L'_S = \left( L_S - \frac{L_m^2}{L_R} \right);$$

$$K_R = \frac{L_m}{L_R}; \quad (3.2.37)$$

$$T_R = \frac{L_R}{R_R}$$

$$T_S' = \frac{L_S'}{r};$$

### 3.2.4. Моделирование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат с вентиляторной нагрузкой.

В неподвижной системе координат трехфазный асинхронный двигатель чаще всего сводят к двухфазной машине, у которой две обмотки *ai* и *bs* сдвинуты в пространстве на 90 градусов и совмещены с координатными осями *a* и *b*. Установлено, что при питании обмоток статора двухфазного асинхронного двигателя синусоидальными напряжениями, сдвинутыми на 90 эл.град., удастся обеспечить в зазоре электрической машины круговое вращающееся электромагнитное поле.

Переходные процессы короткозамкнутого двухфазного асинхронного двигателя, получающего питание от сети или индивидуального преобразователя, обладающего свойствами источника напряжения, можно получить из совместного решения системы дифференциальных уравнений.

Пространственные вектора в этом случае раскладываются по осям  $\vec{u}_S = u_{S\alpha} + ju_{S\beta}, \vec{i}_S = i_{S\alpha} + ji_{S\beta}, \vec{\psi}_R = \psi_{R\alpha} + j\psi_{R\beta}$ .

Подставив эти значения в уравнения (3.2.37) и приравняв отдельно вещественные и мнимые части, получим:

$$\begin{aligned}
\bar{u}_{S\alpha} &= r i_{S\alpha} + L'_S \frac{di_{S\alpha}}{dt} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{R\alpha} + k_R p \omega_m \psi_{R\beta}, \\
\bar{u}_{S\beta} &= r i_{S\beta} + L'_S \frac{di_{S\beta}}{dt} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{R\beta} + k_R p \omega_m \psi_{R\alpha}, \\
0 &= -k_R R_R i_{S\alpha} + \frac{1}{T_R} \psi_{R\alpha} + \frac{d\psi_{R\alpha}}{dt} + p \omega_m \psi_{R\beta}, \\
0 &= -k_R R_R i_{S\beta} + \frac{1}{T_R} \psi_{R\beta} + \frac{d\psi_{R\beta}}{dt} + p \omega_m \psi_{R\alpha}, \\
M &= \frac{3}{2} p k_R (\psi_{R\alpha} i_{S\beta} \times \psi_{R\beta} i_{S\alpha}), \\
J \frac{d\omega_m}{dt} &= M - M_H
\end{aligned} \tag{3.2.38}$$

Система уравнений (3.2.38) в операторной форме примет вид

$$\begin{aligned}
\bar{u}_{S\alpha} &= r(1+T'_S) i_{S\alpha} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{R\alpha} - k_R p \omega_m \psi_{R\beta}, \\
\bar{u}_{S\beta} &= r(1+T'_S) i_{S\beta} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{R\beta} + k_R p \omega_m \psi_{R\alpha}, \\
0 &= -k_R R_R i_{S\alpha} + \frac{1}{T_R} (1+T'_S) \psi_{R\alpha} + p \omega_m \psi_{R\beta}, \\
0 &= -k_R R_R i_{S\beta} + \frac{1}{T_R} (1+T'_S) \psi_{R\beta} - p \omega_m \psi_{R\alpha}, \\
M &= \frac{3}{2} p k_R (\psi_{R\alpha} i_{S\beta} - \psi_{R\beta} i_{S\alpha}), \\
J s \omega_m &= M - M_H, \\
\bar{T}'_S &= \frac{L'_S}{r}.
\end{aligned} \tag{3.2.39}$$

Безразмерные коэффициенты, необходимые для моделирования уравнений (3.2.39), помещены в таблицу 8.

Таблица 8 – Безразмерные коэффициенты

| Коэффициенты      | $r$   | $T'_S$ | $L'_S$ | $K_R$ | $T_R$ |
|-------------------|-------|--------|--------|-------|-------|
| Единица измерения | Ом    | с      | Гн     |       | с     |
| Значение          | 0,112 | 0,017  | 0,0019 | 0,992 | 1,243 |

Структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, построенная по уравнениям (3.2.39) с вентиляторной нагрузкой в соответствии с выражением (3.2.27), представлена на рисунке 25.

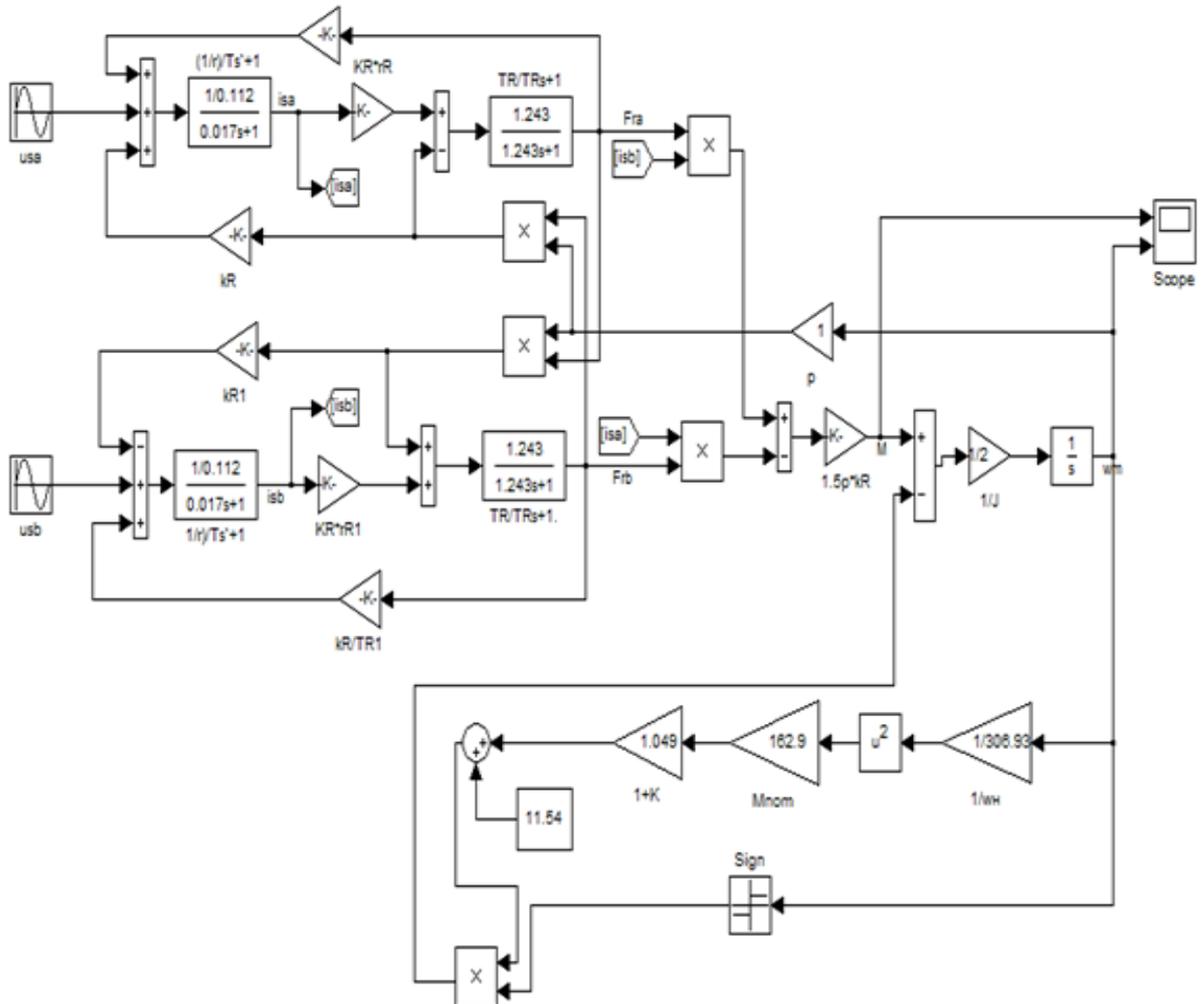


Рисунок 25 – структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат с вентиляторной нагрузкой.

Результаты моделирования процессов пуска двигателя представлены на рисунке 26. На временном отрезке от 0 до 2,4 с на двигатель подается напряжение и двигатель разгоняется скоростью 306,93  $\omega/\text{рад}\cdot\text{с}$  под нагрузкой 162,9 Н·М

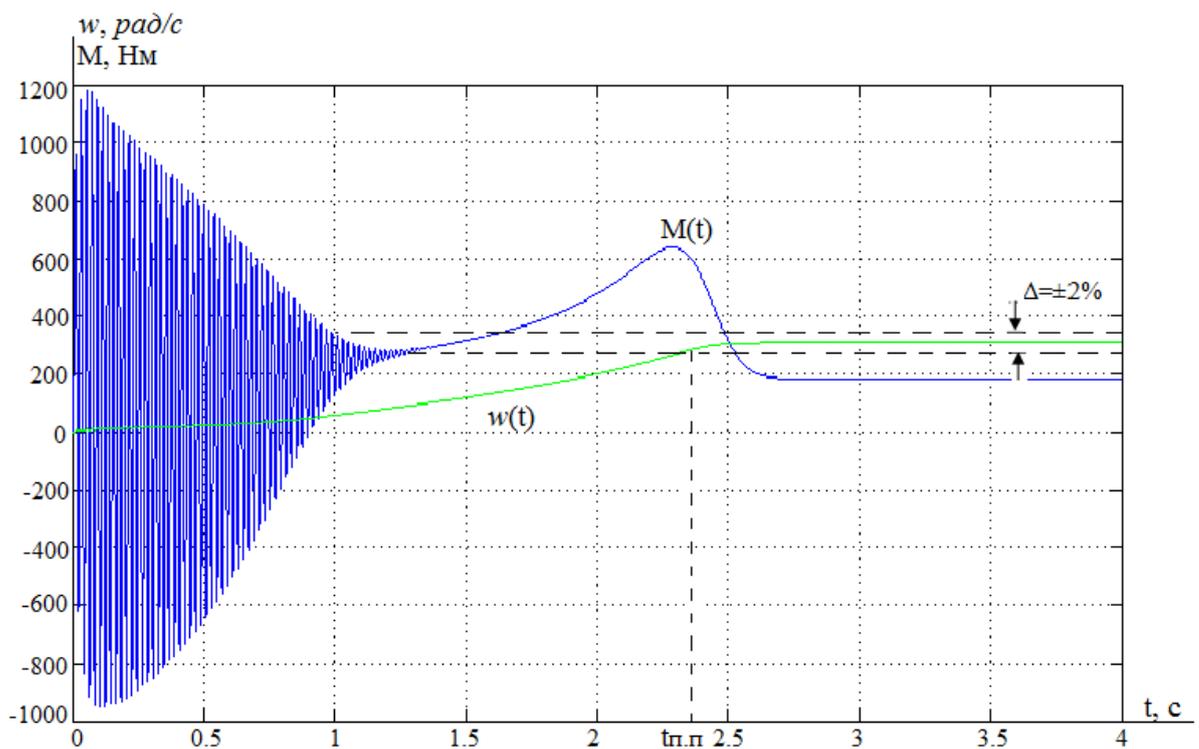


Рисунок 26– результаты моделирования АКЗ в неподвижной системе координат

По результатам полученных графиков переходных процессов скорости и момента, видно что, переходные процессы при структурной схеме АД полностью совпадают с использованием готовой модели АД.

## 4. ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

### 4.1. Выбор преобразователя частоты

Для регулируемого асинхронного электропривода вентилятора выбрана преобразователь частоты EI -7011-075H фирмы ВЕСПЕР.

В соответствии с условием

$$I_{и.н} \geq I_n = 94.6A$$



Рисунок 27 - преобразователь частоты EI -7011-075H

Параметры преобразователя частоты модели EI -7011-075H приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Параметры преобразователя частоты

| Модель        | Число фаз на входе | $I_{и.н}$ , А | Номинальная мощность, кВА | Мощность электродвигателя, кВт |
|---------------|--------------------|---------------|---------------------------|--------------------------------|
| EI -7011-075H | 3                  | 128           | 75                        | 55                             |

**EI-7011 Преобразователи частоты общепромышленного применения.** Новая серия, разработанная на базе самого популярного преобразователя EI-7001.

Широко используются в технологическом оборудовании, где применяется управляемый электропривод: смесителях, дозаторах, производственных линиях, системах водоснабжения, вентиляции, дымососах, подъемно-транспортном и т.п. оборудовании.

#### Технические характеристики:

- Диапазон мощностей 0,75 кВт - 315 кВт;
- Полная защита двигателя;

- Встроенный ПИД – регулятор;
- Язык команд пульта управления – русский;
- Аналоговые и цифровые входы/выходы для регулирования и дистанционного управления;
- Возможность дистанционного управления и мониторинга по RS-232/RS-485 (протокол MODBUS);

- Питание 380 В, 50 Гц;

#### **Общие технические данные преобразователя частоты EI -7011:**

- Максимальное выходное напряжение: Трехфазное 380...460 В (пропорционально входному напряжению);
- Номинальная выходная частота: Вплоть до 400 Гц (достигается посредством программирования);
- Номинальное входное напряжение и частота источника питания: Трехфазное 380...460 В 50/60 Гц;
- Допустимые колебания входного напряжения источника питания: + 10%, 15%;
- Допустимые колебания частоты входного напряжения источника питания:  $\pm 5\%$ ;

#### Характеристики цепи управления:

- Метод управления: Синусоидальная широтно-импульсная модуляция;
- Диапазон управления по частоте: от 0,1 до 400 Гц;
- Точность частотных режимов: Цифровая команда:  $\pm 0,01\%$  (от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ ), Аналоговая команда:  $\pm 0,1\%$  (при  $25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ );
- Разрешающая способность по частоте: Устанавливается уставкой константы в цифровой форме: 0,1 Гц, Устанавливается в аналоговой форме: 0,1 Гц;
- Разрешение по выходной частоте: 0,1 Гц;

- Запас по перегрузке: 120% от номинального выходного тока в течение 1 мин;
- Аналоговый вход задания частоты: от 0 до + 10 В ( 20 кОм ), от 4 до 20 мА ( 250 Ом );
- Время разгона/торможения: от 0,0 до 3600 с (времена разгона/торможения имеют независимые уставки);
- Тормозящий крутящий момент: Порядка 20% без тормозного резистора, с внешним тормозным резистором - 100 %;
- Тормозной прерыватель:
- Встроен в преобразователь (для моделей до 15 кВт включительно);
- Внешний тормозной прерыватель (18,5 ... 315 кВт);

#### Защитные функции:

- Кратковременное отключение питания:
- Немедленное отключение выходного силового напряжения при кратковременном прекращении подачи питания на 15 мс и более (заводское значение). Возможно возобновление управления после возобновления подачи напряжения при его прекращении на время не более 2 с (от 0,75 до 75 кВт);
- Немедленное отключение выходного силового напряжения при прекращении подачи питания (от 93 до 315 кВт);
- Перегрев радиатора-теплоотвода: Защищен термистором;
- Предотвращение срыва вращения: Предотвращение срыва во время разгона/торможения и вращения с постоянной скоростью;
- Защита от токов утечек: Защищен электронной цепью (нарушение баланса выходных токов);
- Индикация заряда шины: Световой индикатор "Заряд" горит, пока напряжение шины не упадет ниже 50 В;

#### Окружающая среда:

- Температура окружающей среды:
- от - 10°C до + 40°C (для исполнения в пластмассовом корпусе);

- от - 10°C до + 45°C (для исполнения в металлическом корпусе);
- Влажность: Относительная влажность не более 90%;
- Температура хранения: от - 20°C до + 60°C;
- Предназначен для эксплуатации: Внутрпомещения , защищенного от коррозионных газов и пыли;
- Высотность: Не более 1000 м;
- Вибрация: от 9,81 м/с<sup>2</sup> (1g) при менее, чем 20 Гц , до 1,96 м/с<sup>2</sup> (0,2g) от 20 до 50 Гц;

Схема подключения преобразователя частоты приведена на рисунке 28.

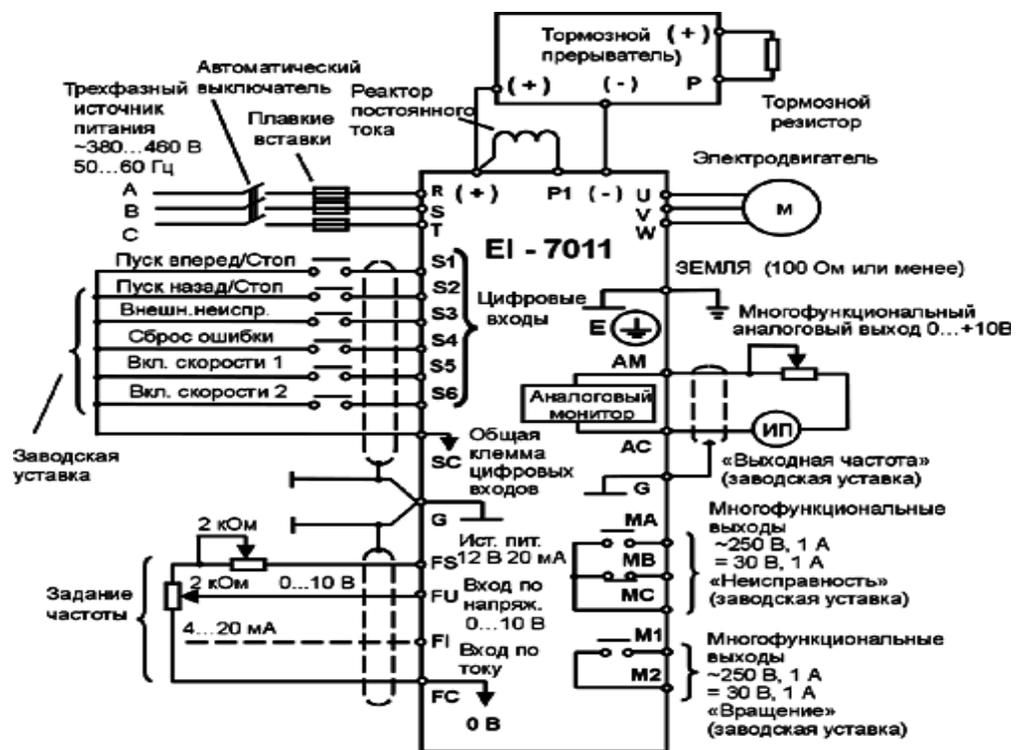


Рисунок 28 – Схема подключения преобразователя частоты

## 4.2.ВЫБОР ЗАКОНА ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

С учетом того, что диапазон регулирования скорости вентиляторов 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  $U_1/f_1 = const$  и

$U_1/f_1^2 = const$ . Последний является более сложным в реализации, но за счет дополнительного снижения напряжения позволяет уменьшить потребляемую из сети энергию. Для повышения пускового момента на малых скоростях до требуемых значений должна быть предусмотрена возможность настройки вольт–частотной характеристики. Определяя параметры вольт-частотной характеристики, нижним частотам ставят в соответствие значения напряжений выше, чем при выбранном законе регулирования.

#### 4.2.1. Механические характеристики системы преобразователь –

двигатель при законе  $U_1/f_1^2 = const$ .

Вольт – частотная характеристика преобразователя при законе регулирования  $U_1/f_1^2 = const$ , рассчитывается по выражению (49)

$$U_1(f_1) = U_{1фн} \cdot \left( \frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2, \quad (49)$$

Механические характеристики  $\omega(M)$  разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель при законе регулирования  $U_1/f_1^2 = const$  для ряда выбранных значений выходной частоты инвертора в интервале от 5 до 50 Гц рассчитывается по выражениям (50):

$$M(s, f_1) = \frac{3 \cdot U_1^2(f_1) \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \cdot s \cdot \left[ \left( X_{кн} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}} \right)^2 \right]} \quad (50)$$

По

результатам

расчета на рисунке 29 построена семейства механических характеристик  $\omega(M)$  системы преобразователь – двигатель при изменении частоты.

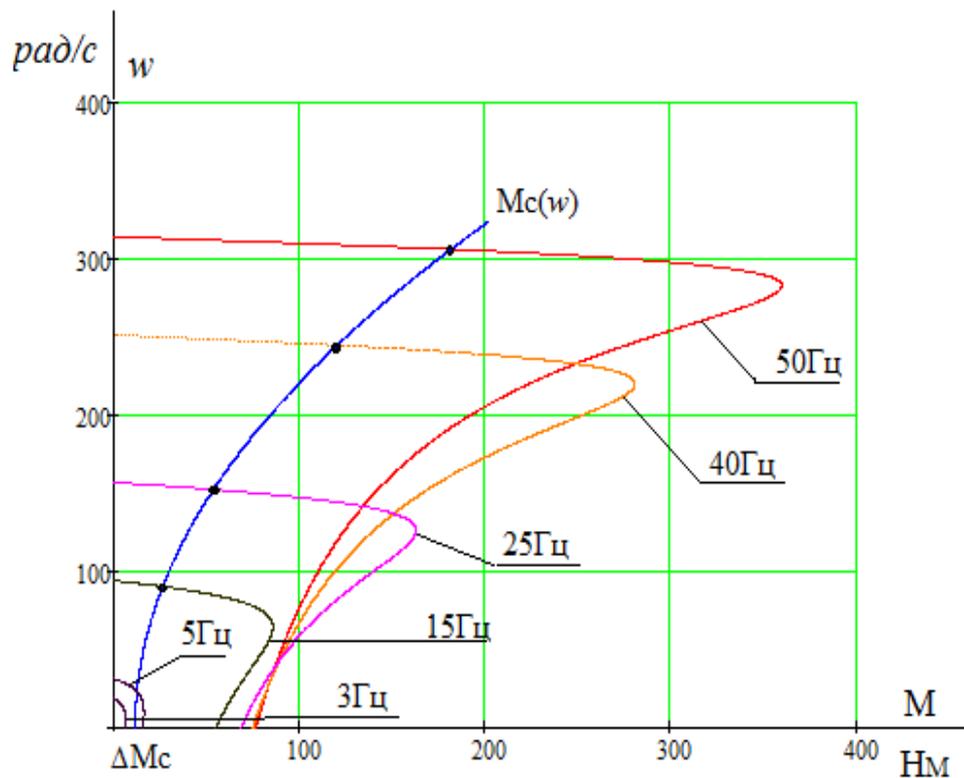


Рисунок 29 – механические характеристики  $\omega(M)$  системы преобразователь – двигатель при законе  $U_1/f_1^2 = \text{const}$ .

Анализ приведенных на рисунке механических характеристик электропривода и нагрузки показывает, что при законе регулирования  $U_1/f_1^2 = \text{const}$  не удастся обеспечить пуск электропривода при выборе частоты  $f = 3 \text{ Гц}$ .

Для повышения пускового момента на малых скоростях до требуемых значений предусмотрена возможность настройки вольт – частотной характеристики. Определяя параметры вольт – частотной характеристики, нижним частотам ставят в соответствие значения напряжений выше, чем при выбранном законе регулирования.

Вольт – частотная характеристика представлена зависимостью

$$U_1(f_1) = U_{1\text{мин}} + (U_{1\text{фн}} - U_{1\text{мин}}) \cdot \left( \frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right)^2$$

и приведена на рисунке (30).

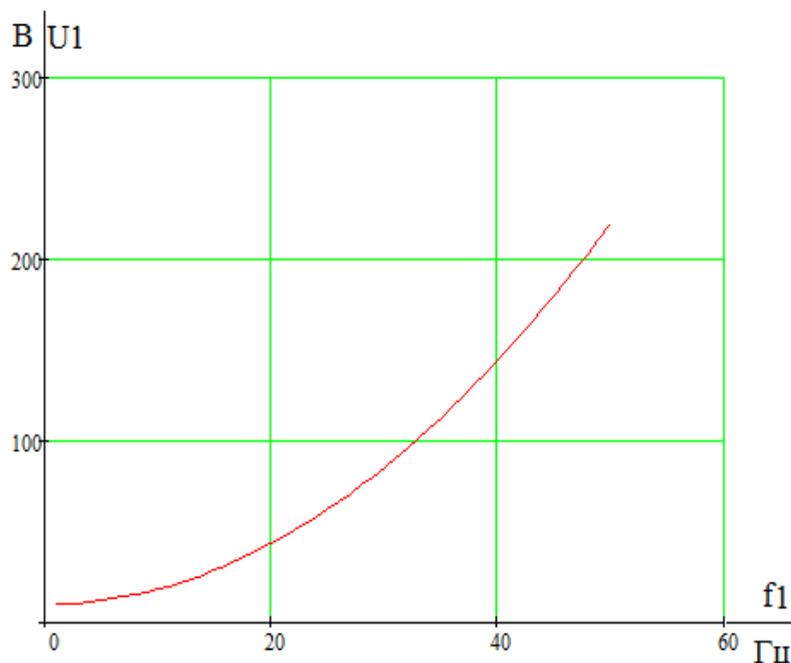


Рисунок30 – вольт – частотная характеристика преобразователя при законе

$$U_1 / f_1^2 = \text{const}$$

С целью обеспечения увеличения пускового момента экспериментально выбраны параметры начального участка вольт – частотной характеристики преобразователя. При 3Гц выбрано минимальное напряжение 10В. Механические характеристики системы преобразователь – двигатель, рассчитанные с учетом выбранной настройки вольт – частотной характеристики и ее параметров приведены на рисунке 31.

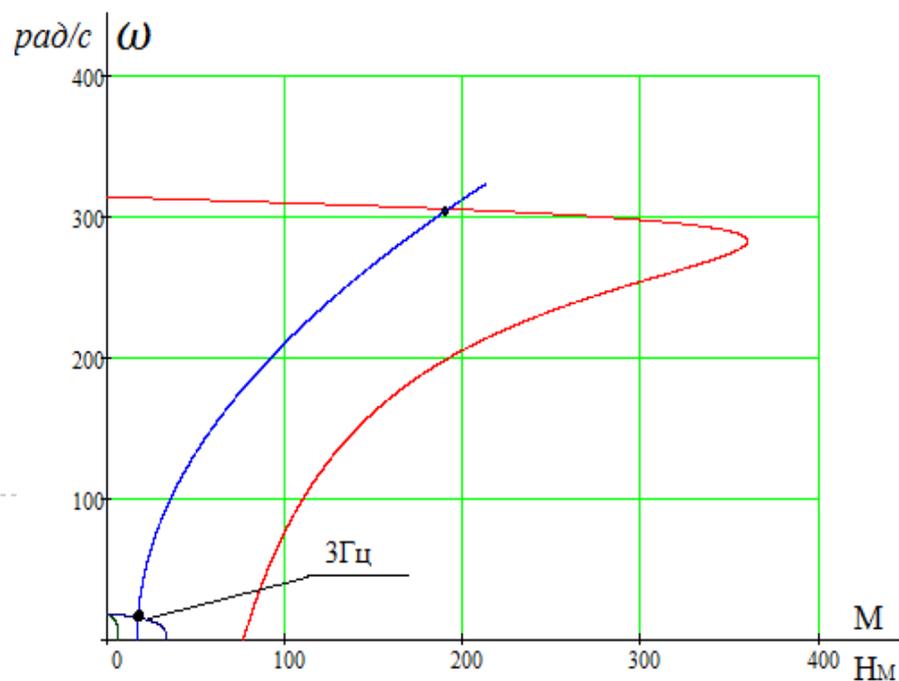


Рисунок31 - Механические характеристики системы преобразователь – двигатель при настройке вольт – частотной характеристики

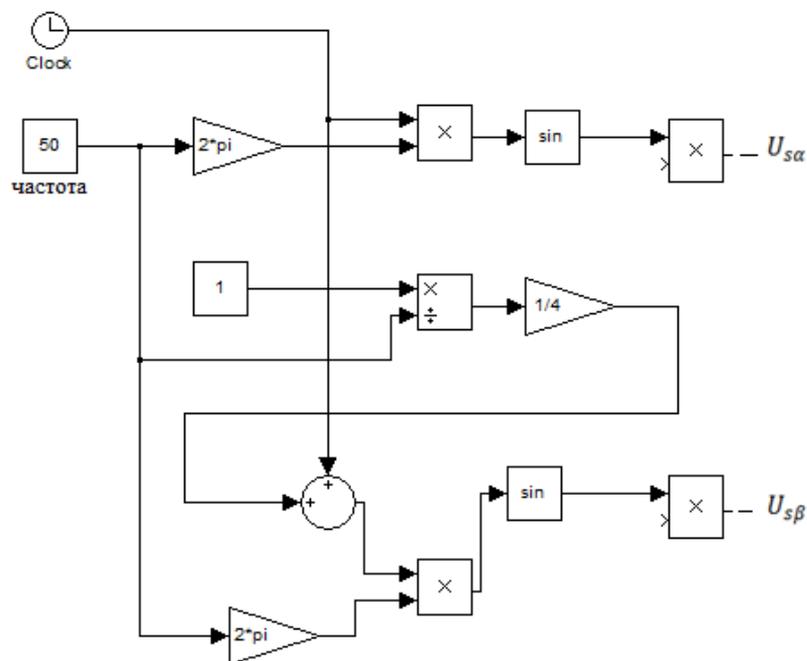


Рисунок 32 - – Имитационная модель подсистемы «Source», представляющей собой источник синусоидальных напряжений, сдвинутых на  $90^0$  относительно друг друга

## 4.2.2.ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ В НЕПОДВИЖНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ И ВЕНТИЛЯТОРНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ЗАКОНЕ

$$U_1/f_1^2 = const$$

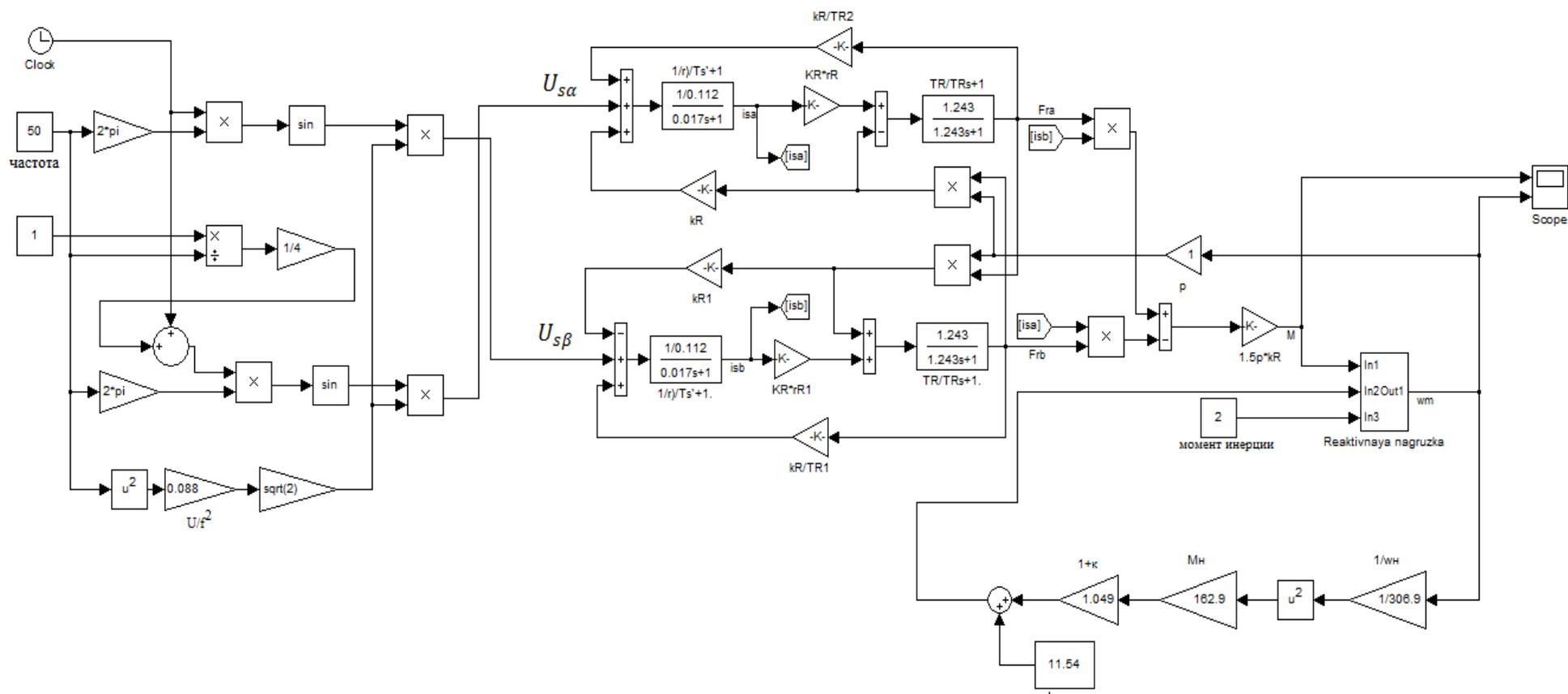


Рисунок33- Имитационная модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат и вентиляторнойнагрузки.

В неподвижной комплексной системе координат вещественная ось обозначается  $\alpha$ , а мнимая  $\beta$ .

$$U_{s\alpha} = \sin(\omega t + 90^\circ)$$

$$U_{s\beta} = \sin \omega t(52)$$

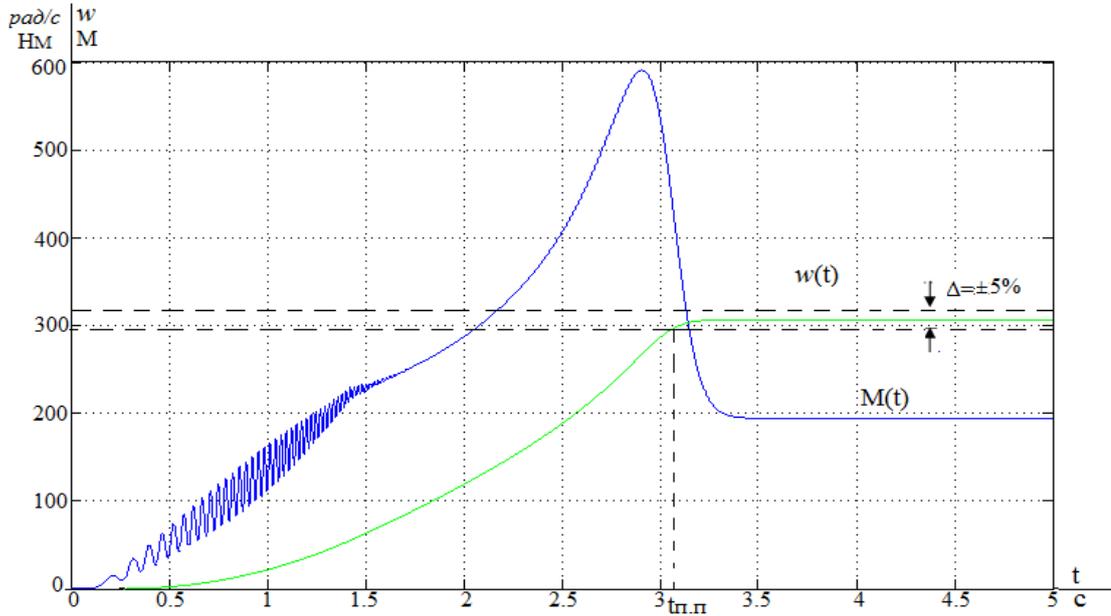


Рисунок 34- Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой при законе  $U_1/f_1^2 = \text{const}$  при частоте 50 Гц

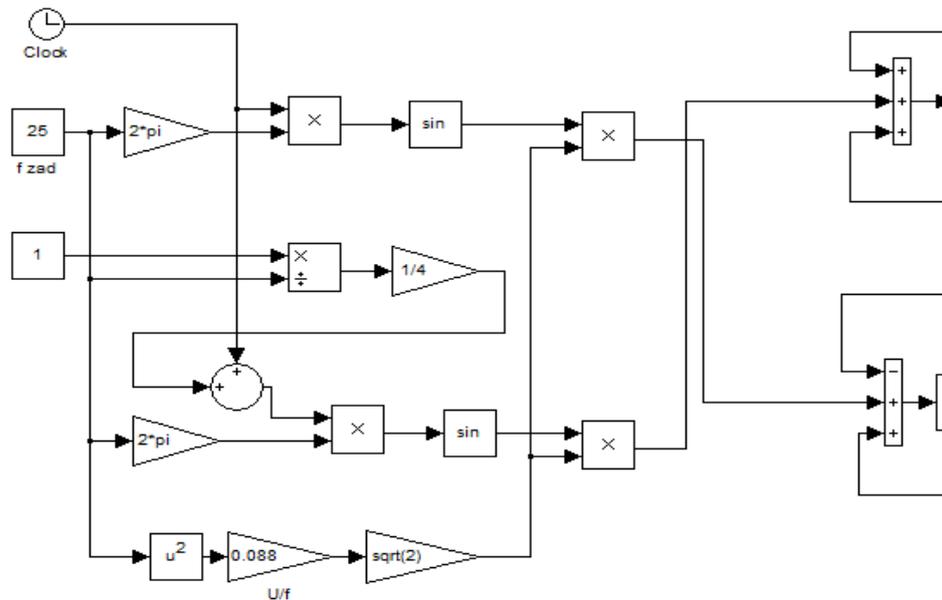


Рисунок 35 – снижение частоты до 25 Гц при законе  $U_1/f_1^2 = \text{const}$  в подсистеме «Source»

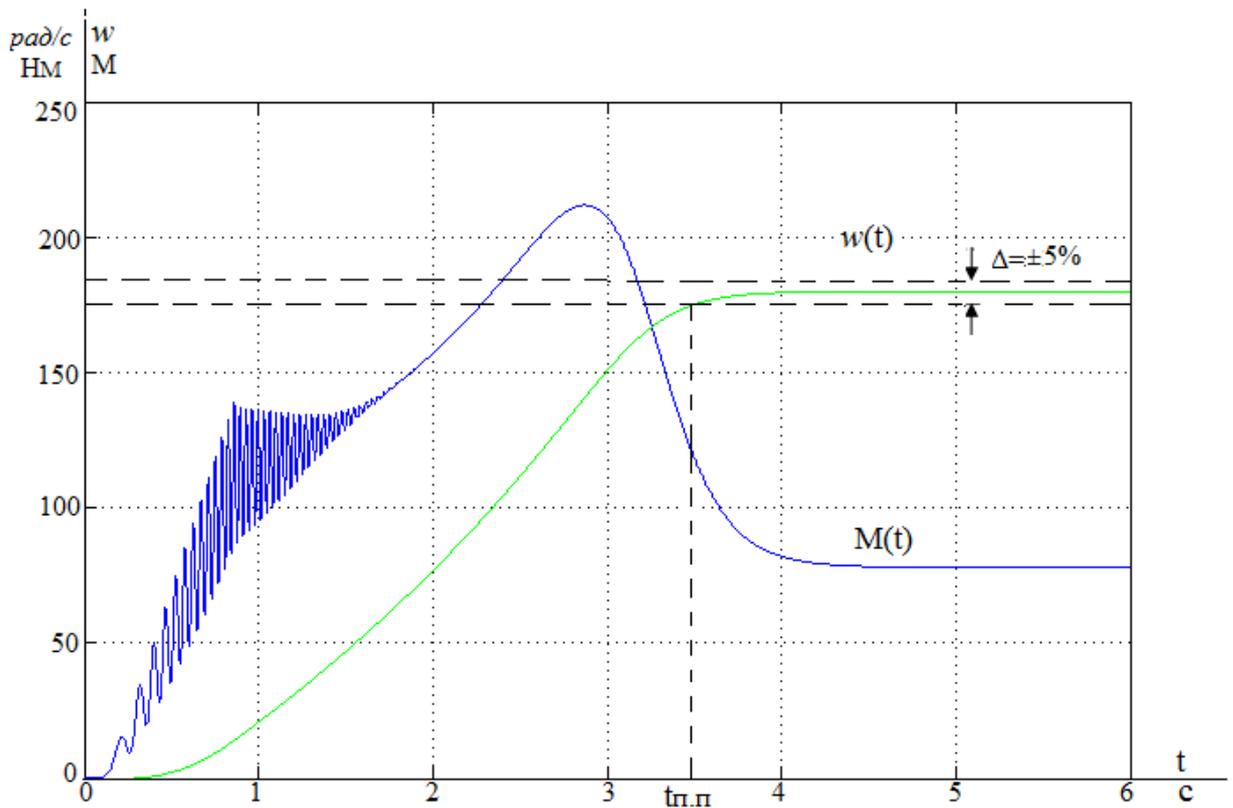


Рисунок 36 - Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой

при законе  $U_1/f_1^2 = \text{const}$  при частоте 25 Гц

Как было показано выше (рисунок 29), при таком законе при малых частотах (3Гц) не обеспечивается пуск электропривода. Следовательно, применяем данную настройку вольт – частотной характеристики.

Вольт – частотная характеристика :

$$(53) \quad U_1(f_1) = U_{\text{мин}} + (U_{\text{фн}} - U_{\text{мин}}) \cdot \left( \frac{f_1}{f_{\text{фн}}} \right)^2$$

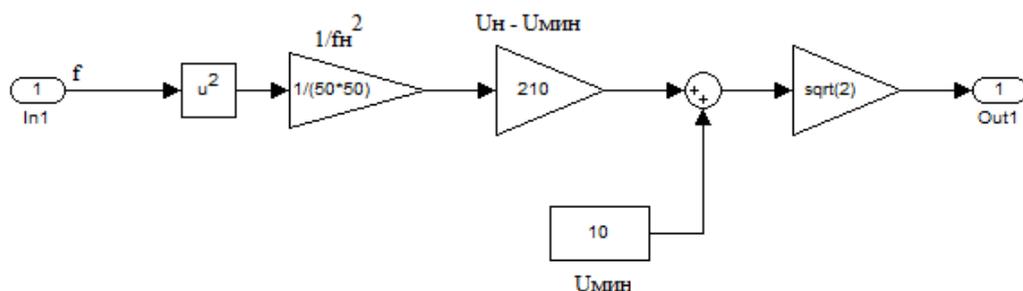


Рисунок 37 - имитационная модель вольт частотной характеристики.

### 4.2.3. Структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат и вентиляторной нагрузки при настройке вольт – частотной характеристики

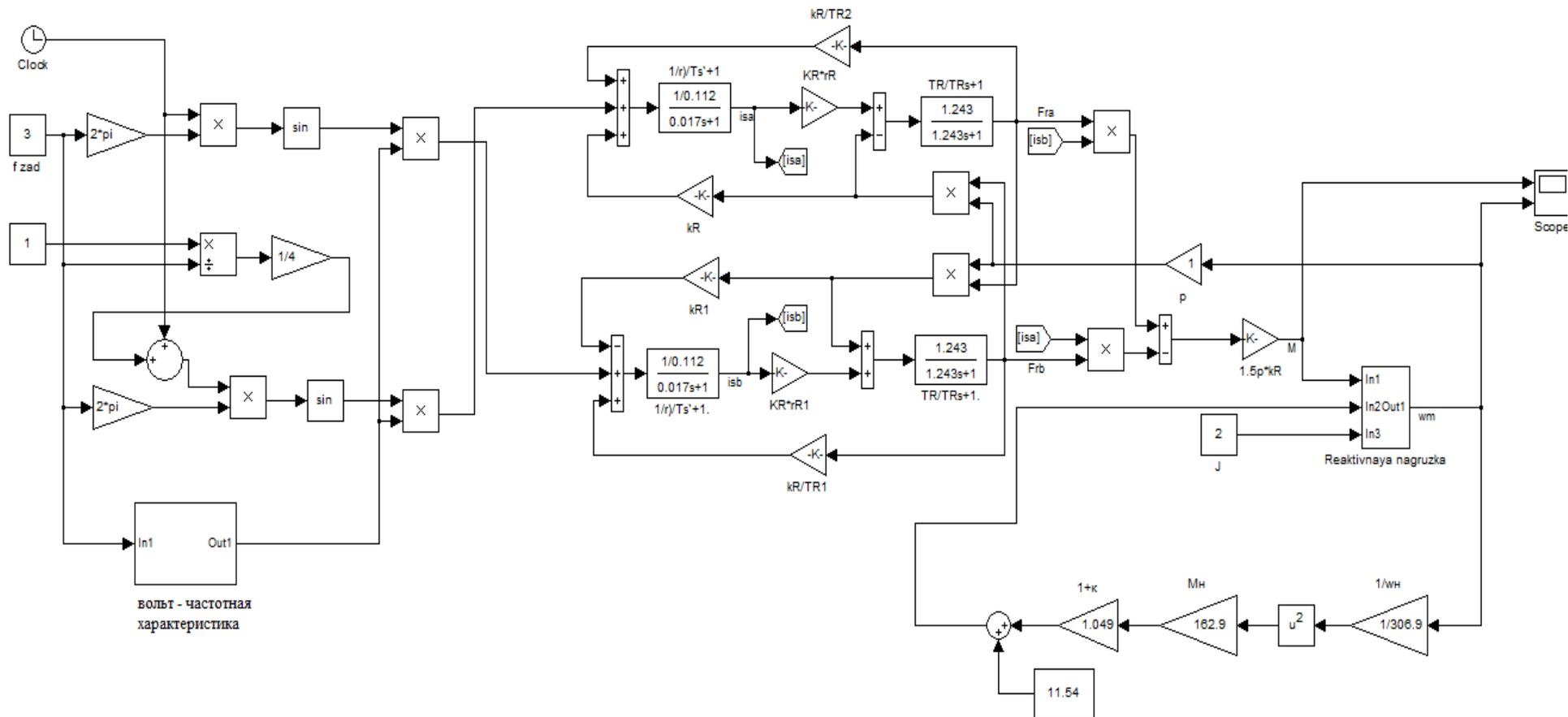


Рисунок 38 - Имитационная модель АСЗ в неподвижной системе координат и вентиляторной нагрузки при настройке вольт частотной характеристики

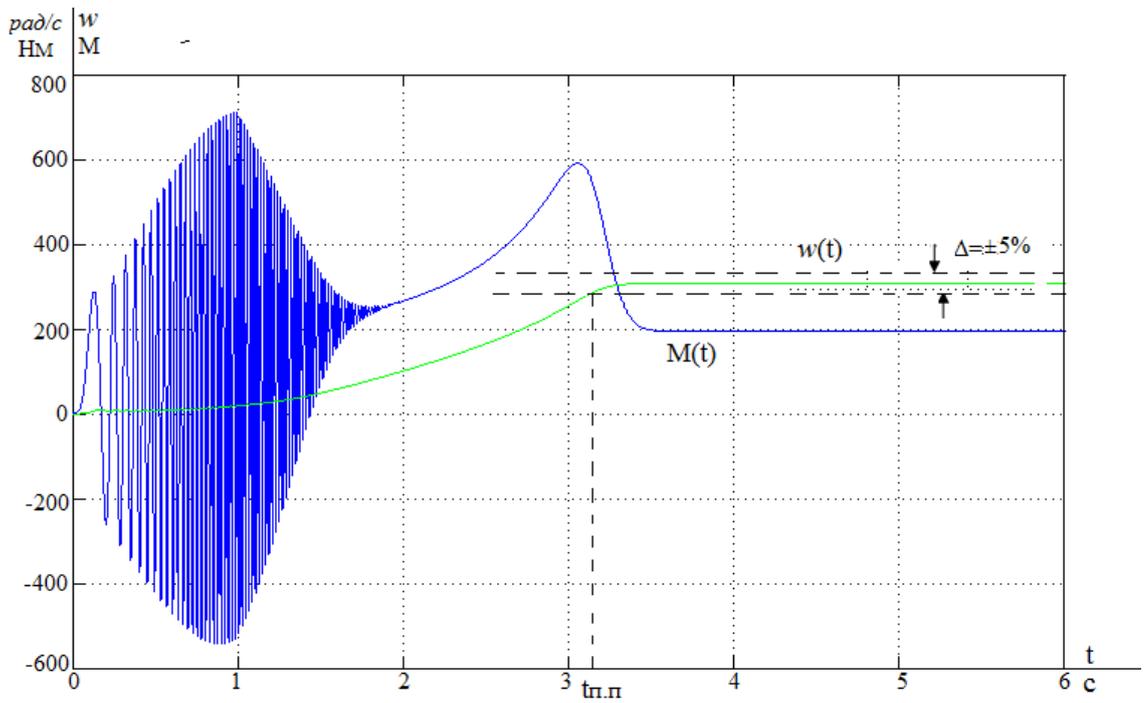


Рисунок 39 –Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой при настройке вольт – частотной характеристики при частоте 50 Гц

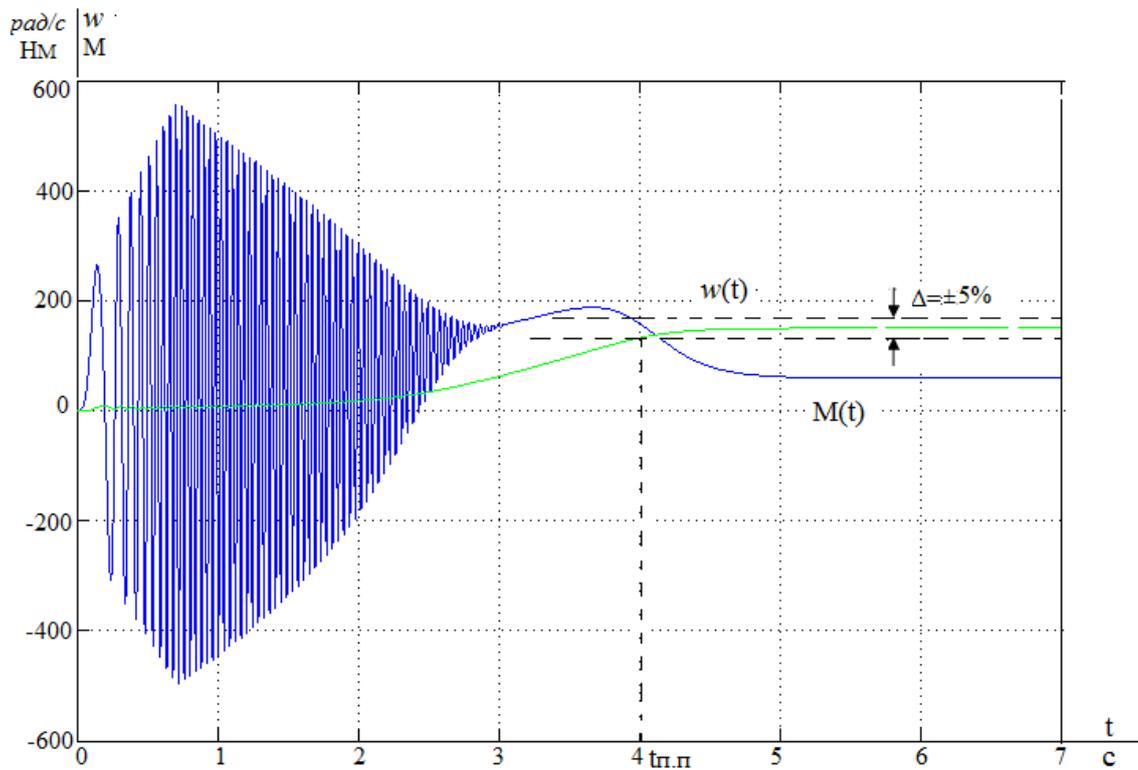


Рисунок 39–Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой при настройке вольт – частотной характеристики при частоте 15 Гц

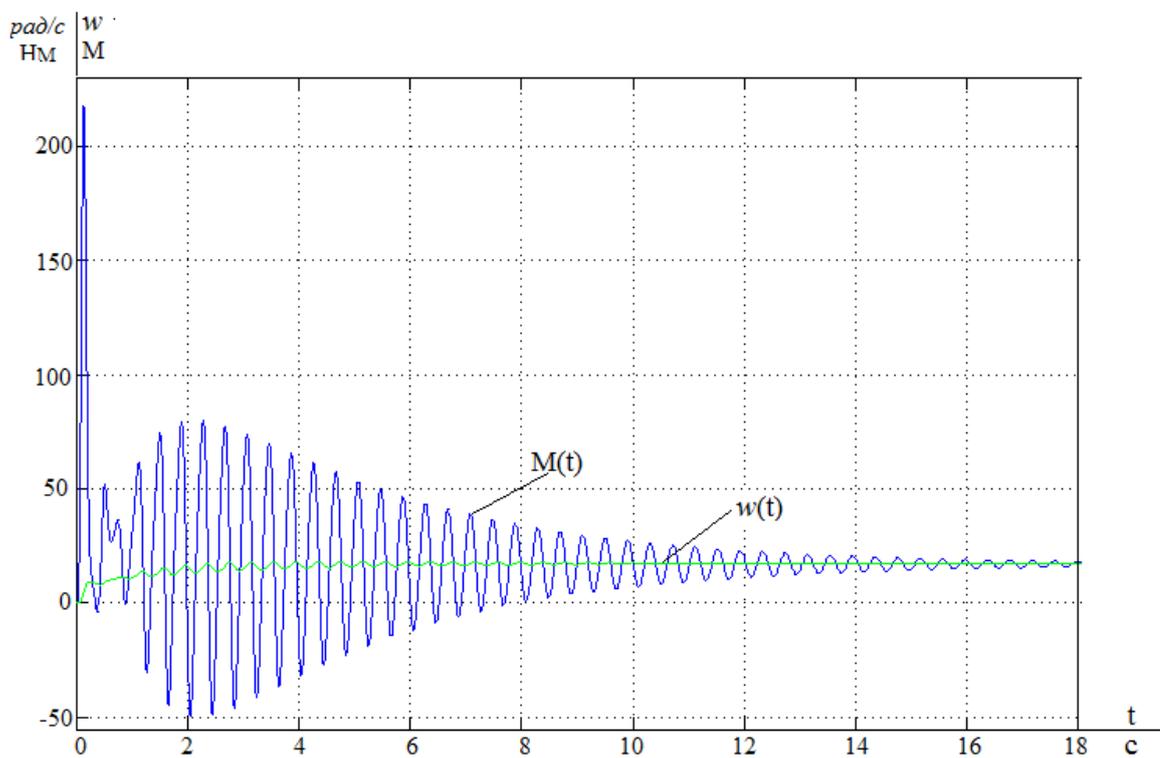
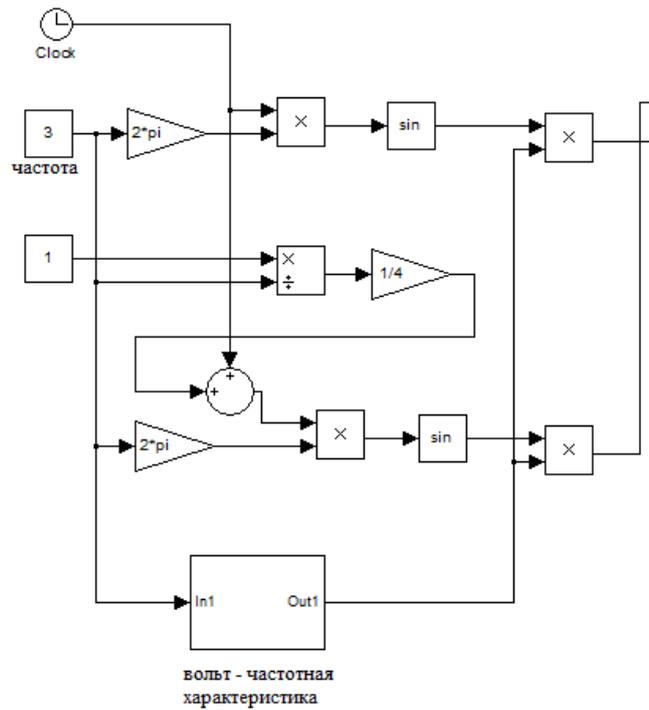


Рисунок 40 - Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой при настройке вольт – частотной характеристики при частоте 3 Гц

На рисунке приведены переходные характеристики скорости и момента асинхронного электродвигателя при 3 Гц, показывающие пуск двигателя после настройки вольт – частотной характеристики.

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

Студенту:

|               |                                 |
|---------------|---------------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                      |
| 3-5ГЗБ2       | Абдуллаев Муслимбек Махмуд угли |

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

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

1. *Стоимость ресурсов проектных работ*
2. *Нормы и нормативы расходования ресурсов*
3. *Используемая система социальных отчислений*

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

1. *Оценка коммерческого потенциала и перспективности выполнения технического проекта;*
2. *Планирование технико-конструкторских работ;*
3. *Планирование сметы технического проекта;*
4. *Определение ресурсной ( ресурсосберегающей ), и экономической эффективности исследования.*

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

1. *График выполнения работ исполнителями ТП ( диаграмма Ганта )*
2. *Матрица SWOT*

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

| Должность | ФИО                        | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| доцент    | Попова Светлана Николаевна | к.э.н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

|               |                                 |                |             |
|---------------|---------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                      | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 3-5ГЗБ2       | Абдуллаев Муслимбек Махмуд угли |                |             |

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Темой дипломного проекта «Асинхронный электропривод шахтного вентилятора». Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности проекта, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки проекта;
- осуществить планирование этапов выполнения проекта;
- рассчитать бюджет проекта;
- произвести оценку ресурсной и экономической эффективности исследования.

### **5.1 Инициализация НТИ и его технико-экономическое обоснование**

Современный рынок требует от отечественного производителя коренной реконструкции и модернизации устаревшего технологического оборудования. Совершенствование технологий производства с целью повышения качества продукции, экономии затраченных средств, внедрение новых идей и соответственно появление новых видов продукции с новыми качествами - все это в условиях свободной конкуренции на рынке требует от товаропроизводителя совершенствовать и внедрять новое технологическое оборудование.

### **5.1.1 Потенциальные потребители результатов научно-технического проекта**

Разработка проекта производится для «Распадской угольной компании», находящейся в Кемеровской области в городе Новокузнецке.

Изменение в конструкции в течении времени :

На протяжении от 1 года до 10 лет настройку существующего электропривода осуществляет ремонтная служба предприятия и сервисная компания по ремонту производственного оборудования. Более 10 лет – только ремонтная служба предприятия.

Замену электропривода, и настройку от 5 и более лет производит ремонтная служба предприятия и сервисная компания.

Замену устройства, настройку электропривода осуществляет фирма – производитель оборудования (более 10 лет).

### **5.1.2 Анализ конкурентных технических решений**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Для анализа необходимо отобрать не менее трех конкурентных товаров и разработок, использующихся в проектировании.

1. Преобразователь частоты HYUNDAI N700E-370HF (79900руб.),  
Электропривод ПЭМ-А16(16500 руб.), Контроллер  
SchneiderModiconM238(3800 руб.), Расходомер US800(2100 руб.),  
МанометрДМ5002Г(10325руб.) Итого: 120 240 рублей.

2. Частотный преобразователь INNOVERT (89500 руб.), электропривод  
ЭПЦ-1000 (17890 руб.), дополнительное оборудование ( 16225 руб.). Итого :  
131 450 рублей

3. ПЧ фирмы АВВ модель ACS880-01-031А-2, двигатель фирмы АВВ модель МЗВР 160 МLА мощностью 7,5 кВт, 1000об/мин, редуктор АВВ 1SDA 073732R1, дополнительное оборудование. Итого: 159 123 рублей.

Производим выбор варианта (комплекта) с использованием метода экспертных оценок.

Для проведения оценки выбраны следующие показатели: *технические* – производительность, помехозащищенность, точность, плавность протекания процессов, степень стандартизации и унификации, удобство управления, шум при работе и *экономические* – капитальные вложения, затраты на эксплуатацию, надежность.

По каждому критерию необходимо установить оценку степени обеспечения: Низкий -1.0; средний-0.5; высокий-0.

Таблица 10 - Сравнительная характеристика электроприводов.

| Критерии оценки   | Вес критерия | Баллы       |             |             | примечание  |
|---|--------------|-------------|-------------|-------------|---|
|   |              | 1           | 2           | 3           |   |
| 1   | 2            | 3           | 4           | 5           | 4   |
| <b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b> |              |             |             |             |   |
| 1. Производительность                                   | 1            | 0           | 0           | 0           | равная у всех комплектов  |
| 2. Помехозащищенность                                   | 0,5          | 0           | 0,5         | 0           |   |
| 3. Точность   | 0,5          | 0           | 0           | 0           | у 3-го комплекта точность выше, но у всех комплектов достаточная                  |
| 4. Плавность протекания процессов                       | 0,5          | 0           | 0           | 0           |   |
| 5. Удобство встройки                                    | 0,2          | 0           | 0,5         | 0           | дополнительные затраты на модуль связи  |
| 6. Степень стандартизации унификации                    | 0,3          | 0           | 1           | 0,5         | 2-й комплект - модуль связи, 3-й двигатель больших размеров                       |
| 7. Удобство управления                                  | 0,5          | 0           | 0,5         | 0           |   |
| 8. Шум при работе                                       | 0,1          | 0,5         | 0,5         | 0           | 3-й комплект имеет лучшие показатели, т.к. ПЧ и АД одного производителя           |
| <b>Экономические критерии оценки эффективности</b>      |              |             |             |             |   |
| 9. Капитальные вложения                                 | 1            | 0           | 0,5         | 0,5         |   |
| 10. Затраты на эксплуатацию                             | 0,8          | 0           | 0           | 0           |   |
| 11. Надежность  | 0,8          | 0           | 0,5         | 0           | надежность 2-го комплекта ниже, т.к. модуль связи произведен штучно, а не серийно |
| <b>Итого</b>  |              | <b>0,05</b> | <b>1,85</b> | <b>0,65</b> |   |

Из сравнительной характеристики электропривода видим, что оптимальные технические данные и оптимальная стоимость в результате сравнения оказались у первого варианта, который и будем использовать в дальнейшем в проекте.

## **5.2 Организация и планирование научно-исследовательских и проектных работ**

Планирование заключается в составлении перечня работ, необходимых для достижения поставленной задачи; определении участников каждой работы; установлении продолжительности работ в рабочих днях; построении линейного или сетевого графика и его оптимизации.

Календарный план ПНР составлен с учетом выходных праздничных дней. На пуско-наладочный работы потребуется 12 рабочих дней. Результат испытаний ПНР обеспечивают работу электрооборудования в соответствии с действующими правилами устройства электроустановок, технической документацией предприятия-изготовителя.

Всего на разработку и ПНР проекта потребуется 21 рабочих дней, которые выполнят 2 человек: руководитель проекта, электромеханик.

Таблица 11 – Состав и структура основных этапов проектирования

| Наименование этапов  | Продолжительность этапов, рабочее время |
|--|---|
| Подготовительный этап  | 3                                       |
| Разработка теоретической части темы  | 2                                       |
| Составление функциональной схемы электропривода  | 1                                       |
| Расчет и выбор оборудования (двигателя, преобразователя частоты, контроллера, расходомера) | 2                                       |
| Выбор метода управления АД   | 1                                       |
| Расчет параметров схемы замещения АД   | 2                                       |
| Построение статических характеристик АД  | 1                                       |
| Компьютерное моделирование   | 5                                       |
| Оформление пояснительной записки   | 4                                       |
| <b>Всего</b>   | <b>21</b>                               |

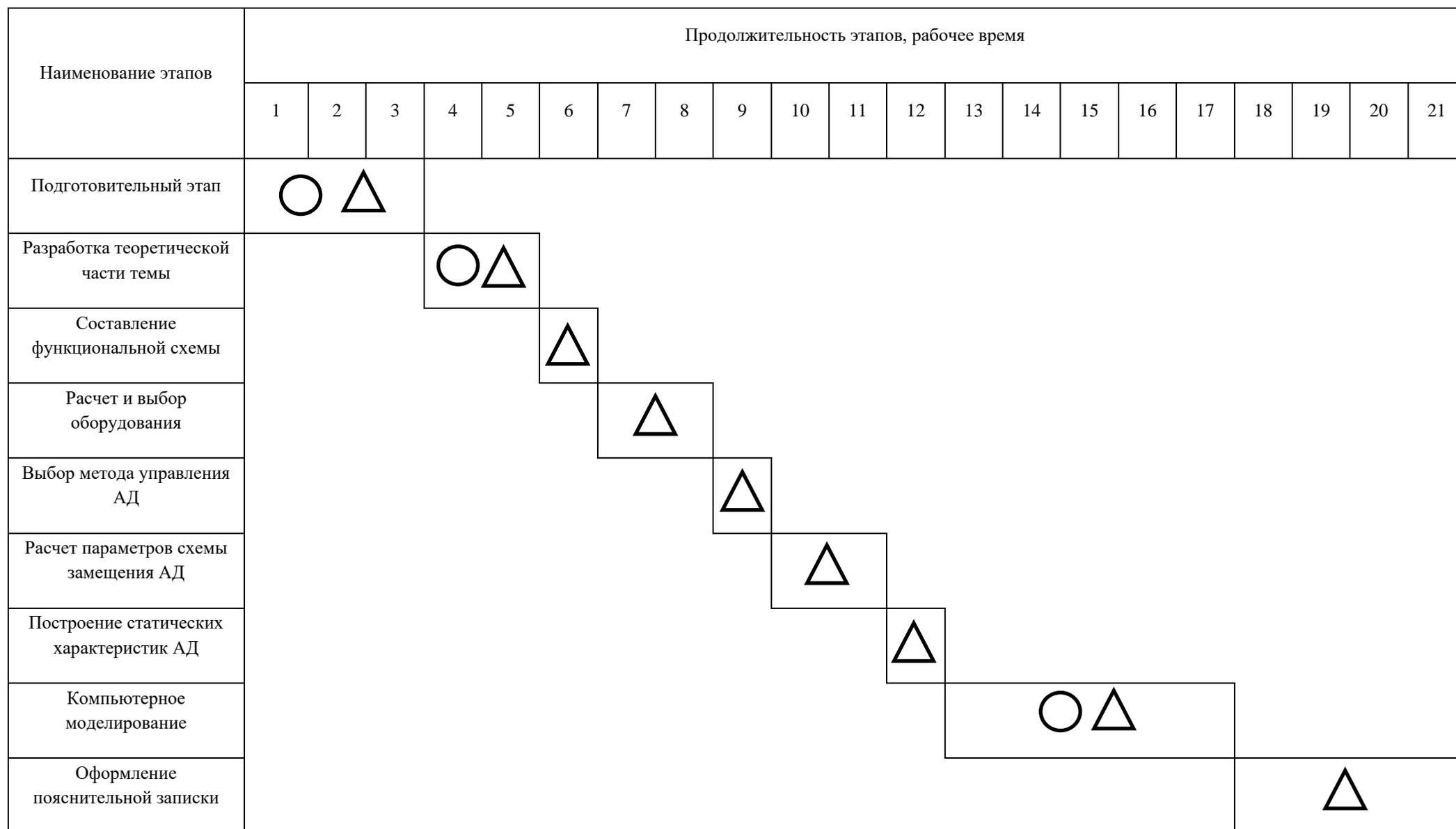


Рисунок 38 – Линейный график

○ – Руководитель;    △ – электромеханик.

### 5.3 Расчет затрат и договорной цены проекта электропривода запорного клапана в системе ГДИС

Осуществление проектной работы потребует расчеты следующих пунктов затрат:

- материальные затраты (электрооборудование);
- капитальные затраты (необходимое специальное и дополнительное оборудование, стоимость монтажных и пусконаладочных работ, а также транспортные расходы);
- расчет заработной платы исполнителей проекта;
- расчет пенсионных и страховых расходов;
- расчет накладных расходов;
- расчет расходов при эксплуатации электропривода;
- расчет амортизационных отчислений;
- расчет заработной платы обслуживающего персонала.

Таблица 12 – Затраты и договорная цена

| Элементы текущих затрат                              | Сумма текущих затрат, руб. |
|--|----------------------------|
| Материальные затраты                                 | 120 240                    |
| Затраты на оплату труда                              | 23132,2                    |
| Отчисления на социальные нужды                       | 6985,92                    |
| Амортизация основных фондов и нематериальных активов | 1402,8                     |
| Прочие затраты                                       | 121 432                    |
| Итого себестоимость разработки                       | 245 020                    |
| Прибыль  | 73506                      |
| Договорная цена                                      | 385 000                    |

### 5.3.1 Материальные затраты

$$M3 = Ц_{\text{эп}} + Ц_{\text{конт}} + Ц_{\text{рас. метр}} + Ц_{\text{м. м}} = 79\,900 + 16\,500 + 2100 + 10\,325 = 120\,240 \text{руб} \quad (4.1)$$

Ц<sub>эп</sub>- цена электропривода

Ц<sub>рас.метр</sub>- цена расходомера,

Ц<sub>конт.</sub>-цена контролера,

Ц<sub>м.м</sub>- цена манометра.

### 5.3.2 Затраты на оплату труда

Величина планового фонда заработной платы определяется по формуле:

$$ЗП = ЗП_{\text{т}} + ЗП_{\text{д}} + ЗП_{\text{п}} \quad (4.2)$$

где  $ЗП_{\text{т}}$  – тарифный фонд заработной платы (по окладам);

$ЗП_{\text{д}}$  – дополнительная заработная плата за неотработанное время (отпуск);

$$ЗП_{\text{д}} = 0,1 \cdot ЗП_{\text{т}} \quad (4.3)$$

$ЗП_{\text{п}}$  – доплаты за условия работы и проживания  $0,3 \cdot ЗП_{\text{т}}$  (учитывается поправочный коэффициент и доплата за вредные и опасные условия работы).

Для бюджетных организаций воспользуемся тарифными ставками Единой тарифной сетки (ЕТС), при тарифной ставке 1-го разряда 5550 руб./мес.[14]

Рассчитаем заработную плату руководителя при тарифной ставке 15-ого разряда:

$$ЗП_{\text{т}} = \frac{5550 \cdot 3,62 \cdot 10}{30} = 6697 \text{руб} \quad (4.4)$$

$$ЗП_{\text{д}} = 6697 \cdot 0,1 = 669,7 \text{руб} \quad (4.5)$$

$$ЗП_{\text{р}} = (6697 + 669,7) \cdot 1,3 = 9576,71 \text{руб} \quad (4.6)$$

Рассчитаем заработную плату электромеханика при тарифной ставке 10-ого разряда:

$$ЗП_{\text{Т}} = \frac{5550 \cdot 2,44 \cdot 21}{30} = 9479,4 \text{ руб} \quad (4.7)$$

$$ЗП_{\text{Д}} = 9479,4 \cdot 0,1 = 947,94 \text{ руб} \quad (4.8)$$

$$ЗП_{\text{Ин}} = (9479,4 + 947,94) \cdot 1,3 = 13555,5 \text{ руб} \quad (4.9)$$

$$ЗП_{\Sigma} = ЗП_{\text{Пр}} + ЗП_{\text{Ин}} = 9576,71 + 13555,5 = 23132,2 \text{ руб} \quad (4.10)$$

### 5.3.3 Отчисления на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды составляют 30,2% от заработной платы.

$$C_{\text{сн}} = ЗП_{\Sigma} \cdot 0,302 = 6985,92 \text{ руб} \quad (4.11)$$

### 5.3.4 Амортизация основных фондов и нематериальных активов

$$C_{\text{ам}} = \frac{1}{T_{\text{сл}}} \cdot K_{\text{обор}} \cdot \frac{21}{360} = \frac{1}{5} \cdot 120\,240 \cdot \frac{21}{360} = 1402,8 \text{ руб.} \quad (4.12)$$

Где:  $T_{\text{сл}}$  – срок службы оборудования;

$K_{\text{обор}}$  – цена оборудования.

Таблица 13 – Стоимость оборудования необходимого для проектирования

| Наименование                                | Стоимость, руб. |
|---|-----------------|
| Преобразователь частоты HYUNDAI N700E–370HF | 79 900          |
| Электропривод ПЭМ–А16                       | 16 500          |
| Контроллер SchneiderModiconM238             | 3 800           |
| Расходомер US800                            | 21 000          |
| МанометрДМ5002Г                             | 10 325          |
| ИТОГО                                       | 120 240         |

### 5.3.5 Прочие затраты

Прочие затраты составляют 140% от суммы всех затрат.

$$\begin{aligned}
 Z_{пр} &= (MЗ + ЗПΣ + C_{сн} + C_{ам}) \cdot 1,4 = \\
 &= (120\,240 + 23\,132,2 + 6\,939,68 + 1\,402,8) \cdot 1,4 = 173\,254 \text{ руб.}
 \end{aligned}$$

### 5.3.6 Итого стоимость разработки

$$\begin{aligned}
 C &= MЗ + ЗПΣ + C_{сн} + C_{ам} + Z_{пр} = \\
 &= 120\,240 + 23\,132,2 + 6\,985,92 + 1\,402,8 + 173\,253 = 293\,594 \text{ руб.}
 \end{aligned}$$

## 5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности, определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{р.}i}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения включая ПНР

$\Phi_{p1}=120\,240 \text{ руб.}+320\,000 \text{ руб.}=440\,240 \text{ рублей}$

$\Phi_{p2}=131\,450 \text{ руб.}+320\,000 \text{ руб.}=451\,450 \text{ рублей}$

$\Phi_{p3}=\Phi_{\text{max}}=159\,123 \text{ руб.}+210\,000 \text{ руб.}=469\,123 \text{ рублей}$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = 0.89$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = 0.92$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = 1$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах.

#### 5.4.1 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Определяется следующим образом:

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

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы 14.

Таблица 14 - Сравнительная оценка вариантов исполнения

| Объект исследования<br>Критерии                                     | Весовой коэффициент параметра | Исп.1<br>HYUNDAI<br>N700E–<br>370HF | Исп.2<br>INNOVERT | Исп.3<br>ABB<br>модель<br>ACS880-<br>01-<br>031A-2 |
|---|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------|--|
| 1. Способствует росту производительности труда пользователя         | 0,15                          | 5                                   | 5                 | 5  |
| 2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0,2                           | 4                                   | 3                 | 3  |
| 3. Помехоустойчивость   | 0,2                           | 4                                   | 3                 | 4  |
| 4. Энергосбережение   | 0,25                          | 4                                   | 4                 | 4  |
| 5. Надежность   | 0,3                           | 5                                   | 3                 | 4  |
| 6. Материалоемкость   | 0,2                           | 5                                   | 4                 | 3  |
| ИТОГО   | 1,3                           | 4,6                                 | 3,9               | 4,2  |

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,01 = 4,6;$$

$$I_{p-исп2} = 5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 3,9;$$

$$I_{p-исп3} = 5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 = 4,2.$$

#### 5.4.2 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{испi}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}} = 5.16$$

$$I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}} = 4.23$$

$$I_{исп.3} = \frac{I_{р-исп3}}{I_{финр}} = 4.2$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp1} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.1}} = 1$$

$$\mathcal{E}_{cp2} = \frac{I_{исп.2}}{I_{исп.1}} = 0.82$$

$$\mathcal{E}_{cp1} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.1}} = 0.8$$

Таблица 15 - Сравнительная эффективность разработки

| № п/п | Показатели  | Исп.1<br>HYUNDAI<br>N700E–<br>370HF | Исп.2<br>INNOVERT | Исп.3<br>ABB<br>модель<br>ACS880-<br>01-<br>031A-2 |
|-------|---|-------------------------------------|-------------------|--|
| 1     | Интегральный финансовый показатель разработки           | 0,89                                | 0,92              | 1  |
| 2     | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4,6                                 | 3,9               | 4,2  |
| 3     | Интегральный показатель эффективности                   | 5,16                                | 4,23              | 4,2  |
| 4     | Сравнительная эффективность вариантов исполнения        | 1                                   | 0,82              | 0,8  |

Сравнение значений с позиции финансовой и ресурсной эффективности указывает на первый вариант исполнения - преобразователь частоты фирмы HYUNDAI N700E–370HF, стоимостью 120 240 рублей, который и был использован в НТП.

Итак, по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» можно сделать следующие выводы:

1. С точки зрения коммерческого потенциала и перспективности разработки проекта отметим следующее:

Кузбасс - один из крупнейших центров метаноугольных месторождений, в связи с этим, наш проект очень актуален для данных условий и местоположения. Разработка проекта производится для «Распадской угольной компании», которая является одной из самых больших и развивающихся компаний, включающая в себя множество дочерних предприятий по области, и постоянно расширяющая территориальные возможности своей деятельности. Далее, «Распадская угольная компания» является инвестором настоящего проекта, который так же при минимальных затратах времени на внедрение проекта и трудовых ресурсов очень перспективен.

2. Произведен анализ конкурентных проектных технических решений. В результате проведения работы по сравнению и оценки критериев комплектов электроприводов выбран преобразователь частоты HYUNDAI N700E-370HF, электропривод ПЭМ-А16, контроллер SchneiderModicon M238, расходомер, манометр ДМ5002Г. Данный комплект наиболее выгодный и наиболее эффективный по техническим показателям.

3. Произведено планирование работ по проекту, на выполнение которых потребуется 21 день,

4. «Распадская угольная компания» предоставляет 385 000 рублей для реализации проекта, был засчитан бюджет, который составил 293 592 рублей, что сэкономило 30 процентов, в которые вошли 120 240 рублей на приобретение электрооборудования, прочие затраты составили 173 252 рублей.

5. Произведена оценка ресурсной и экономической эффективности исследования, мы рассмотрели три комплекта оборудования наиболее подходящих для нашего проекта и рассчитали и сравнили все необходимые показатели, а именно: 1) Интегральный финансовый показатель разработки, 2)

Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки, 3)  
Интегральный показатель эффективности, 4) Сравнительная эффективность  
вариантов исполнения. Рассчитав вышеперечисленные показатели по  
каждому комплекту оборудования, определили, что самые высокие показатели  
эффективности у первого комплекта, который мы и внедряем в производство.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

|               |                                 |
|---------------|---------------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                      |
| 3-5ГЗБ2       | Абдуллаев Муслимбек Махмуд угли |

|                            |                                |                                  |  |
|----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--|
| <b>Школа</b>               | Инженерная школа<br>энергетики | <b>Отделение</b>                 | Кафедра<br>электропривода и<br>электрооборудования<br>(ЭПЭО) |
| <b>Уровень образования</b> | Бакалавриат                    | <b>Направление/специальность</b> | 13.03.02<br>Электроэнергетика и<br>электротехника            |

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

|   |   |
|---|---|
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения  | Рабочее место инженера-проектировщика, оборудованное ПК   |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>   |   |
| <p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)</li> </ul> | <p>1. Анализ следующих вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Электромагнитное поле;</li> <li>- Шум;</li> <li>- Психоэмоциональное напряжение;</li> <li>- Отклонение показателей микроклимата;</li> <li>- Недостаточная освещенность рабочей зоны.</li> </ul> <p>2. Анализ следующих опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Поражение электрическим током.</li> </ul> |
| <p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> </ul>   | Анализ воздействия на литосферу: образование отходов.   |

|  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>  |  |
| <p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul> | <p>Наиболее типичная ЧС для рассматриваемого цеха – пожар. Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС, действий во время ЧС и для ликвидации её последствий.</p> |
| <p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>   | <p>Организационные вопросы обеспечения безопасности в рабочей зоне для инженера-проектировщика (в соответствии с эргономическими требованиями).</p>                    |

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

**Задание выдал консультант:**

| Должность              | ФИО                          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------------|------------------------------|------------------------|---------|------|
| Ассистент ОКД<br>ИШНКБ | Ледовская<br>Анна Михайловна | -                      |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа  | ФИО                             | Подпись | Дата |
|---------|---------------------------------|---------|------|
| 3-5ГЗБ2 | Абдуллаев Муслимбек Махмуд угли |         |      |

## **6 Социальная ответственность**

### **Описание рабочего процесса инженера – проектировщика**

На основе новейших научно-технических достижений, передового отечественного и зарубежного опыта проектирования, строительства и эксплуатации объектов и с использованием средств автоматизации проектирования инженер – проектировщик разрабатывает отдельные разделы (части) проекта. Принимает участие в подготовке заданий на разработку проектных решений. Участвует в сборе исходных данных для проектирования, в решении технических вопросов по закрепленным объектам на протяжении всего периода проектирования, монтажа, ввода в действие объекта и освоения проектных мощностей. Увязывает принимаемые проектные решения с проектными решениями по другим разделам (частям) проекта. Обеспечивает соответствие разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам по проектированию и монтажу, а также заданию на их разработку. Участвует в анализе и обобщении опыта разработки проектов и их реализации в монтаже и на этой основе готовит предложения о целесообразности корректировки принятых общих и принципиальных проектных решений.

Так как в своей трудовой деятельности инженер – проектировщик занимается сбором, подготовкой и обработкой информационных данных, следовательно, большую часть своего рабочего времени он проводит за ЭВМ, в результате чего на него воздействуют вредные производственные факторы, которые влияют на его функциональное состояние и работоспособность. Воздействие вредного производственного фактора в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению работоспособности.

В настоящее время в производстве, научно-исследовательских и конструкторских работах, сфере управления и образования персональные

ЭВМ (ПЭВМ) находят большое применение. Однако компьютер – не только квалифицированный помощник, но и источник вредного воздействия на организм человека, а, следовательно, источник профессиональных заболеваний. Это предъявляет к каждому пользователю персонального компьютера требование – знать о вредном воздействии ПЭВМ на организм человека и необходимых мерах защиты от этих воздействий.

В данном разделе дипломной работы речь пойдет об исследовании условий труда инженера-проектировщика. В этом случае объектом исследования выступает как рабочее место инженера, так и помещение, в котором находится его рабочее место.

Данный раздел призван выявить и проанализировать опасные и вредные производственные факторы при работе с видеодисплейными терминалами (ВДТ) и ПЭВМ. Ставятся задачи определения необходимых мер защиты от этих факторов проектировщика и оператора ПЭВМ, оценки условий труда, микроклимата рабочей среды и предоставления рекомендаций по созданию оптимальных условий труда. Рассматриваются вопросы техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды. Объектом исследования является рабочее место и помещение, в котором оно находится.

## **6.1 Производственная безопасность**

### **Анализ вредных производственных факторов.**

При работе с ПЭВМ и ВДТ инженер – проектировщик (программист) подвергается действию вредных производственных факторов:

- отклонение параметров микроклимата от допустимых значений;
- шум
- недостаточный уровень освещения;

- электромагнитное поле
- психоэмоциональное напряжение

Рассмотрим более подробно действие этих факторов.

#### *Микроклимат помещений.*

Для создания нормальных условий труда в производственных помещениях должны обеспечиваться нормативные значения параметров микроклимата СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Микроклимат помещений для лёгкой категории работ, 1а включает определённую температуру и влажность. Нормы метеорологических условий учитывают время года и характер производственного помещения.

Холодный период года:

- Температура воздуха 22 – 24 °С;
- Относительная влажность 40 – 60%;
- Скорость движения воздуха – не более 0,1 м/с.

Теплый период года:

- Температура воздуха 23 – 25 °С;
- Относительная влажность 40 – 60%;
- Скорость движения воздуха – не более 0,1 м/с.

Рассматривая вопросы охраны труда людей, работающих в лаборатории, нельзя обойтись без рассмотрения вопроса вентиляции помещения.

Количество приточного воздуха при естественном проветривании должно быть не менее 30 м<sup>3</sup>/ч на одного человека, при объёме помещения приходящегося на него менее 20 м<sup>3</sup>. В исследуемом помещении имеется 9 рабочих мест, объём помещения составляет 29,25 м<sup>3</sup>, следовательно, на одного работающего приходится приблизительно 3,25 м<sup>3</sup>, что не обеспечивает выполнение санитарных норм. Следовательно, наряду с естественной, следует

применять искусственную (механическую) вентиляцию, например, установить кондиционеры.

*Производственный шум.*

Шумы оказывают на организм человека такие действия как: снижение остроты слуха; повышение кровяного давления; нарушение ритма сердечной деятельности; ухудшение памяти; снижение производительности труда.

Шумы на рабочих местах нормируются по ГОСТ 12.1.003-99.

Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука представлены в таблица 16.

Таблица 16 - Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука

| Рабочие места                                   | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц |    |     |     |     |      |      |      |      | Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА |
|---|--|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|--|
|   | 31,5   | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |  |
| Конструкторские бюро, программисты, лаборатории | 86   | 71 | 61  | 54  | 49  | 45   | 42   | 40   | 38   | 50   |

Для уменьшения шума и вибраций в помещениях вычислительных центров оборудование и приборы необходимо устанавливать на специальные фундаменты и амортизирующие прокладки, описанные в нормативных документах. Снизить уровень шума в помещениях с ПК можно также использованием звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63 - 8000 Гц для отделки помещений (разрешенных органами и учреждениями Госсанэпиднадзора), подтвержденных специальными акустическими расчетами. По характеру спектра в помещении присутствуют широкополосные шумы. Источник шумов – электродвигатели в системе охлаждения и вентиляции машин. Допустимый уровень шумов для помещений компьютерных залов 50 Дб. Защита от шумов

– заключение вентиляторов в защитный кожух и установление их внутри корпуса ЭВМ.

Вибрация оборудования на рабочих местах не должна превышать допустимых величин, установленных ГОСТ 12.1.012-96. Допустимый уровень звукового давления, звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах должны отвечать требованиям ГОСТ 12.1.036-96.

#### *Освещение.*

Нормирование освещенности производится в соответствии со СП 52.13330.2016. В соответствии с задачами зрительной работы компьютерная лаборатория относится к первой группе, т. е. помещение, в котором производится различение объектов зрительной работы при фиксированном направлении линии зрения. Нормированное значение освещенности рабочей поверхности для данной группы помещений составляет 300 лк.

Требования к освещению ряда производственных помещений представлены в таблица 17.

Таблица 17 - Нормируемые параметры естественного и искусственного освещения

| Помещения   | Рабочая поверхность и плос-кость нормирования КЕО и освещенности (Г – горизонтальная, В - вертикальная) и высота плоскости над полом, м | Естественное освещение                    |                       | Совмещенное освещение                     |                       | Искусственное освещение       |          |                     |
|---|---|---|-----------------------|---|-----------------------|-------------------------------|----------|---------------------|
|   |   | КЕО $e_n$ , %                             |                       | КЕО $e_n$ , %                             |                       | Освещенность, лк              |          |                     |
|   |   | при верхнем или комбинированном освещении | при боковом освещении | при верхнем или комбинированном освещении | при боковом освещении | при комбинированном освещении |          | при общем освещении |
| 1   | 2   | 3   | 4                     | 5   | 6                     | 7                             | 8        |                     |
| Помещения для работы с дисплеями и видеотерминалами, залы ЭВМ | Г-0,8<br>Экран монитора:<br>В-1,2   | 3,5<br>-                                  | 1,2<br>-              | 2,1<br>-                                  | 0,7<br>-              | 500<br>-                      | 300<br>- | 400<br>200          |

Для обеспечения требуемого освещения произведем расчет искусственной освещенности. Искусственное освещение устраивается во всех основных и вспомогательных помещениях производственных зданий в соответствии со СП 52.13330.2016.

Помещение, в котором проводилась дипломная работа, имеет следующие параметры: ширина – 4,5 м, длина – 6,5 м, тогда его площадь составит 29,25 м<sup>2</sup>. В качестве источников искусственного освещения в лаборатории используются люминесцентные лампы типа ЛБ. Световой поток лампы типа ЛБ при напряжении питающей сети 220 В и мощности 40 Вт, составляет 2480 лк.

Согласно санитарно-гигиеническим требованиям рабочее место инженера-программиста должно освещаться естественным и искусственным освещением. По нормам освещенности, СП 52.13330.2016 и отраслевым нормам освещенности в лабораториях при работе с экраном дисплея и в сочетании с работой над документами над документами рекомендуется освещенность 300 лк при общем освещении.

Затем определяем тип светильников: ОДР-2 общего освещения люминесцентные диффузорные с решеткой, прямого света. Свес светильника рекомендуется делать от 0,5-0,7 м.

Размещение светильников в помещении определяется следующими размерами:

$H$  – высота помещения;  $h_c$  – расстояние светильников от перекрытия (свес);  $h_n = H - h_c$  – высота светильника над полом, высота подвеса;  $h_p$  – высота рабочей поверхности над полом;  $h = h_n - h_p$  – расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью.

Принимаем высоту свеса светильника  $h_c = 0,5$  м и высоту рабочей поверхности  $h_p = 0,7$  м. Тогда высота подвеса светильника  $h_n$  над рабочей поверхностью равна:  $h_n = H - h_c - h_p$ , где  $H$  – высота помещения (4 м).

$h_n = 4 - 0,5 - 0,7 = 2,5$  м.

Световой поток лампы накаливания или группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi = E_H SK_3 Z / n \eta ;$$

где  $E_H$  – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95, (500 лк);  $S$  – площадь освещаемого помещения,  $m^2$ ;  $K_3$  — коэффициент запаса учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т.е. отражающих поверхностей), (наличие в атмосфере цеха дыма, пыли);  $Z$  - коэффициент неравномерности освещения, отношение  $E_{cp} / E_{min}$ . (для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1);  $n$  - число светильников;  $\eta$  - коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность (из таблицы принимаем равным 0,63). Он зависит от индекса помещения  $i$ , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью  $h$  и коэффициентов отражения стен  $\rho_c$  и потолка  $\rho_n$ .

$K_3 = 1,5$  для помещения при нормальной эксплуатации светильников с люминесцентными лампами (для помещений с малым выделением пыли).

Для создания благоприятных зрительных условий на рабочем месте, для борьбы со слепящим действием источников света введены требования ограничения наименьшей высоты светильников над полом;  $L$  – расстояние между соседними светильниками или рядами,  $l$  – расстояние от крайних светильников или рядов до стены. Оптимальное расстояние  $l$  от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным  $L/3$ .

Для определения  $Z$  нужно знать отношение между величинами:  $h_n$  и  $L$ . С учетом, что  $L/h_n = 1,2$ , получим  $Z = 1,1$ .

Светильники расположены в два ряда по три лампы в каждом ряду, причем в каждом из 3-х светильников по две люминесцентных лампы, т.е.  $N=6$ . Зависит от типа светильника, коэффициента отражения светового потока от стен  $p_1$ , потолка  $p_2$ , пола  $p_3$ , а также геометрических размеров помещения и  $h_n$  — высоты подвеса светильников от рабочей поверхности, что учитывается величиной  $i$  — индексом помещения. Индекс помещения определяется по формуле

$$i = S / h_n (A + B) ;$$

Следовательно, величина коэффициента помещения составит:

$$i = 29,25 / 2,8 * (4,5 + 6,5) = 0,95$$

Соответственно освещенность  $E_H$  составит:

$$E_H = \Phi \cdot n \cdot \eta / Z \cdot S \cdot K_3 ;$$

$$E_H = 2480 \cdot 8 \cdot 0,63 / 1,1 \cdot 29,25 \cdot 1,5 = 258 \text{ лк.}$$

Минимальная освещенность при использовании ЭВМ и одновременной работе с документами составляет 300 лк. А так как освещения не достаточно, то необходимо установить возле каждого компьютера по настольной лампе, с лампочкой, мощностью не менее 60 Вт.

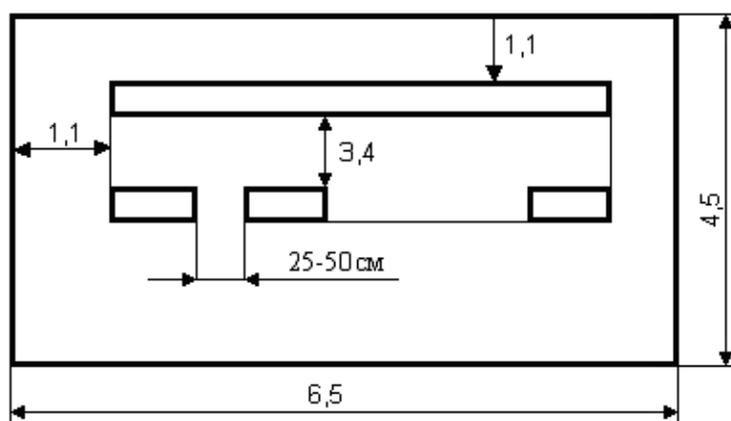


Рисунок 39 - План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

### **Техника безопасности.**

Техника безопасности – это система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих воздействие на работающих опасных производственных факторов, предусматривающая обеспечение безопасности производственного оборудования и производственных процессов, внедрение новых машин, механизмов, инструмента, сконструированных с соблюдением всех требований охраны труда; установление блокирующих устройств, применение средств коллективной и индивидуальной защиты.

### **6.2 Экологическая безопасность**

В настоящее время используются компьютеры, потребляющие сравнительно небольшое количество электроэнергии; вероятность электропоражения сравнительно невелика, поскольку современные ПЭВМ максимально приспособлены к безопасной работе. При работе с ПЭВМ и ВДТ возникает электромагнитное поле и рентгеновское излучение. Доза облучения при работе с компьютером составляет 100 мкР/час, при этом доза облучения увеличивается с уменьшением расстояния до экрана. В целом, доза облучения,

создаваемая монитором, невелика по сравнению с естественным фоном рентгеновского облучения, что достигается применением средств коллективной защиты. Работа компьютера сопровождается шумом, однако его уровень в пределах нормы и не оказывает значительного воздействия на окружающую среду. Для безопасной работы с ПЭВМ и ВДТ сам пользователь должен соблюдать требования: эргономики, пожарной и электрической безопасности.

В представленном дипломном проекте вред экологии может нанести лишь неправильная утилизация используемого оборудования – компьютер и люминесцентные лампы.

Отработанные люминесцентные лампы складываются в специальных помещениях или в специальных контейнерах, по мере накопления задаются в специальные центры по утилизации имеющие лицензию на это вид деятельности. В г.Новокузнецке это предприятие “Эколенд”.

### **6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

#### **Поведение объекта в ЧС**

Причинами аварий и катастроф могут являться стихийные бедствия, нарушения режимов технологических процессов (несоблюдение технологической дисциплины) либо правил эксплуатации производственного, энергетического, транспортного и др. оборудования, а также правил техники безопасности. Инженер-проектировщик находится в офисном помещении, где может возникнуть пожар.

Так как помещение по степени пожароопасности относится к категории В, Согласно [НПБ 105-03], т.е. к помещениям с твердыми сгораемыми веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

- Организационные мероприятия: предусматривают правильную эксплуатацию машин и внутризаводского транспорта, правильное

содержание зданий, территории, противопожарный инструктаж, наличие плана эвакуации.

- Технические мероприятия: соблюдение противопожарных правил и норм при проектировании зданий, устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.
- Эксплуатационные мероприятия: своевременная профилактика, ремонты и испытание технологического оборудования.

В офисном помещении для тушения возгораний предусмотрено использование углекислотного огнетушителя ОУ-3 для тушения возгораний классов А, В и электроустановок до 1000 В при температуре воздуха -40°С до +50°С.



Рисунок 40 - План эвакуации людей и оборудования.

Правила поведения при пожаре.

При возникновении пожаров для спасения жизни и имущества следует соблюдать ряд несложных правил:

в начале пожара следует предпринять попытку его тушения с помощью огнетушителей и водопроводной воды; малые очаги возгорания можно накрыть плотными покрывалами для прекращения доступа воздуха;

огонь на элементах системы электроснабжения нельзя тушить водой; предварительно надо отключить электроснабжение;

о возникновении пожара необходимо сообщить в пожарную охрану, назвав точный адрес, свою фамилию; по возможности организовать встречу прибывших подразделений;

если в здании прозвучал сигнал тревоги, нужно немедленно покинуть помещение согласно плану эвакуации; из помещений нижних этажей можно эвакуироваться самостоятельно через окна, балконы и с помощью подручных средств (веревки, простыней, ремней и проч.); лифты при пожарах использовать нельзя;

- проходя через горящие помещения, следует накрыться с головой мокрой материей; через задымленные помещения двигаться нужно ползком или пригнувшись (в этом случае меньше вероятности задохнуться в дыму); для защиты от токсичных продуктов горения дышать следует через влажный платок или ткань;

- если загорелась одежда, нельзя бежать, нужно постараться сбить пламя покрывалом, катанием по полу, затушить ее водой, снегом, землей и т.п.;

выходить из зоны пожара нужно в наветренную сторону.

*Меры, необходимые для повышения устойчивости при ЧС*

Под устойчивостью работы объекта понимается способность объекта выпускать установленные виды продукции в объемах и номенклатурах,

предусмотренных соответствующими планами (для объектов, не производящих материальные ценности, — транспорт, связь и др. — выполнять свои функции), в условиях ЧС, а также приспособленность этого объекта к восстановлению в случае повреждения.

Мероприятия по обеспечению устойчивости работы объекта прежде всего должны быть направлены на защиту рабочих и служащих от оружия массового поражения и от последствий ЧС; они тесно связаны с мероприятиями по подготовке и проведению спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ в очагах поражения, так как без людских резервов и успешной ликвидации последствий ЧС в очагах поражения проводить мероприятия по обеспечению устойчивой работы объектов народного хозяйства достаточно проблематично.

На устойчивость объектов влияют следующие факторы:

- степень надежности защиты рабочих и служащих;
- бесперебойное снабжение объекта всеми видами энергии, водой, сырьем, комплектующими изделиями;
- наличие плана перевода производства на особый режим работы в экстренных ситуациях;
- степень надежности управления производством;
- надежность действия производственных связей;
- заблаговременная подготовка к восстановлению производства.

Одним из наиболее важных направлений в повышении устойчивости работы объекта является строгое соблюдение инженерно-технических требований ГО еще на стадии его проектирования и строительства.

Организация и улучшение условий труда на рабочем месте является одним из важнейших резервов производительности труда и экономической эффективности производства, а также дальнейшего развития самого работающего человека. В данной главе рассмотрены вредные производственные факторы, которые возникают в процессе работы инженера - проектировщика при работе на рабочем месте и в рабочей зоне.

В целях предупреждения загрязнения воздуха и почвы неправильно утилизированным используемым оборудованием (компьютер и люминесцентные лампы) разработаны мероприятия по охране окружающей среды. Проведен анализ возможных чрезвычайных ситуаций на объекте, из которых наиболее вероятными являются пожар, разработаны основные противопожарные мероприятия.

#### **6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Рабочие места операторов ЭВМ необходимо размещать с противоположной стороны шумных агрегатов вычислительных машин; они должны иметь естественное и искусственное освещение. Площадь на одно рабочее место должна быть не менее  $6,0 \text{ м}^2$ , а объем не менее  $24,0 \text{ м}^3$ . В силу того, что помещение предназначено для интенсивной, напряженной и сосредоточенной работы, при окрашивании офисного помещения необходимо использовать успокаивающие цвета. Помещение, в котором выполнялась дипломная работа, имеет следующее цветовое решение: стены окрашены в бежевый цвет, столы произведены из прессованных опилок и оклеены декоративной бумагой, потолок побелен.

Конструкция рабочего стола обеспечивает оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей (размер ПК), характера выполняемой работы. Конструкция рабочего стула (кресла) обеспечивает поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПК, позволяет изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Основные требования к размерам и конструкции рабочего стула приведены в ГОСТ 12.2.032-92.

Для предупреждения развития переутомления обязательными мероприятиями являются:

- проведение упражнений для глаз через каждые 20-25 минут работы за компьютером;
- подключение таймера к ПК или централизованное отключение свечения информации на экранах видеомониторов с целью обеспечения нормируемого времени работы на ПК;
- проведение во время перерывов сквозного проветривания помещений с компьютерами.

Офисное помещение, где был разработан дипломный проект, принадлежит к категории помещений без повышенной опасности по степени вероятности поражения электрическим током, вследствие этого к оборудованию предъявляются следующие требования:

- Экран видеомонитора должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя (расстояния от источника);
- Применение приэкранных фильтров, специальных экранов.
- Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

## Заключение

В данной квалификационной выпускной работе была проектирована частотно – регулируемый электропривод шахтного вентилятора местного проветривания и исследована эффективность внедрения ЧРП.

В ходе работы для регулирования скорости вращения вентилятора использован современный асинхронный частотно-регулируемый электропривод.

Получены механические и электромеханические характеристики выбранного асинхронного двигателя, построенные по расчетным и каталожным значениям. В качестве закона управления, для преобразователя

частоты выбран закон регулирования  $\frac{U_{1j}}{f_{1j}^2} = const$ . Для повышения пускового

момента на малых скоростях до требуемых значений предусмотрена возможность настройки вольт – частотной характеристики.

Также произведено моделирование переходного процесса при пуске двигателя в программной среде MatLabSimulink. Был реализован задатчик интенсивности. С использованием имитационных моделей построены динамические характеристики.

В результате применения ЧРП значительно снижаются эксплуатационные расходы. При изменении частоты вращения, производительность вентилятора также изменится, создаваемое давление изменится в два раза, а потребляемая мощность в три раза. КПД вентилятора остается неизменным. Данный способ регулирования является наиболее экономически выгодным.

Эффективность внедрения частотно-регулируемого электропривода определяется не только экономией электроэнергии, повышением надежности работы оборудования и снижением эксплуатационных затрат. Важным достоинством является возможность оптимизации режимов работы, повышение уровня автоматизации, а также удобство и простота внедрения.

## **Conclusion**

In this qualifying final work, a frequency - controlled electric drive of a local ventilation fan was designed and the efficiency of introducing the VFD was investigated.

During operation, a modern asynchronous variable-frequency electric drive is used to regulate the fan speed.

Mechanical and electromechanical characteristics of the selected asynchronous motor are obtained, constructed according to design and catalog values. As a control law, a regulation law has been chosen for the frequency converter. To increase the starting torque at low speeds up to the required values, it is possible to adjust the voltage-frequency characteristic.

Also, a simulation of the transient process was performed when the engine was started in the MatLabSimulink software environment. The intensity setter was implemented. Using dynamic models, dynamic characteristics were constructed.

As a result of the application of VFD, operating costs are significantly reduced. If the speed is changed, the performance of the fan will also change, the created pressure will change twofold, and the power consumption will be three times. The fan efficiency remains unchanged. This method of regulation is the most cost-effective.

The efficiency of introducing a frequency-controlled electric drive is determined not only by energy saving, increased reliability of equipment operation and lower operating costs. An important advantage is the possibility of optimizing the operating modes, increasing the level of automation, as well as the convenience and ease of implementation.

## Список литературы

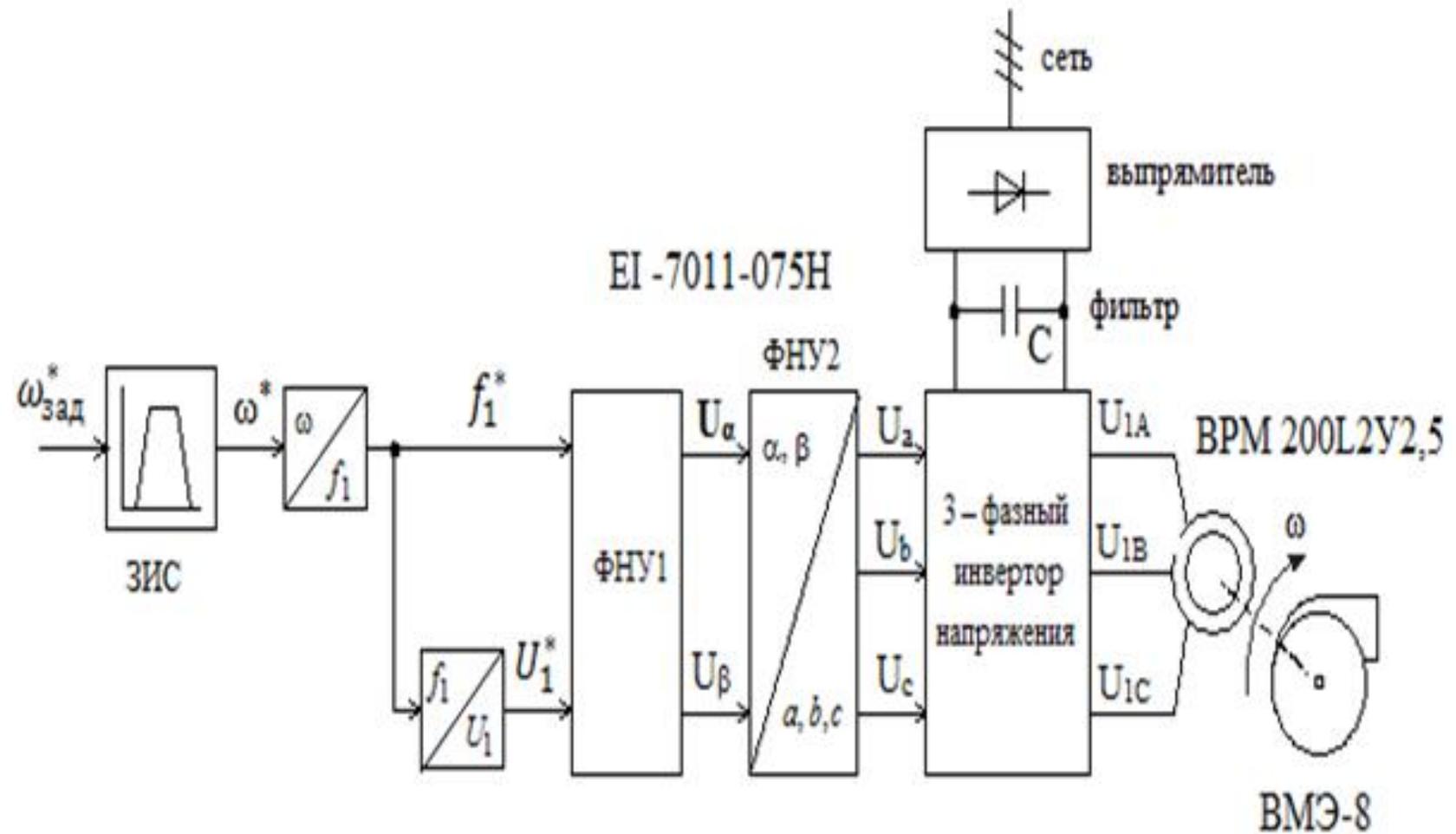
1. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 8. Асинхронный частотно – регулируемый электропривод: учебное пособие / Л.С.Удудт, О.П.Мальцева, Н.В. Кояин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010 – 448с.
2. Электропривод переменного тока: учебное пособие / А.Ю.Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев; томский Политехнический Университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011–2013 с.
3. MATLAB Simulink Проектирование мехатронных систем на ПК: учебное пособие / С.Г. Герман – Галкин; Корона – век, 2008 – 368 с.
4. Моделирование систем электропривода в Simulink(Matlab 7.0.1): учебное пособие / В.Б. Терехин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010 –292 с.
5. Справочник по электрическим машинам: Том 2/С74 Под общей редакцией И.П.Копылова, Б.К. Клокова.–М.: Энергоатомиздат, 1989. – 688с.
6. Калинушкин М.П. Насосы и вентиляторы: учебное пособие для вузов, 6-е издание. – М.: Высшая школа, 1987. – 176с.
7. Онищенко Г.Б. Рег. Автоматизированный электропривод промышленных установок: Уч. пособие для ВУЗов, М.: Энергоатомиздат, 2002 г.
8. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов.–М.: Энергоатомиздат; 1986–416с.
9. С.Н. Вешеневский Характеристики двигателей в электроприводе. Изд.6-е, исправленное. М., «Энергия».
10. Башарин А.В., Голубев Ф.Н., Кепперман В.Г. Примеры расчетов автоматизированного электропривода. – Л.: Энергия, 1971. -440 с.

11. Шрейнер Р.Т. математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты: - Екатеринбург: УРО РАН, 2000.–654 с.
12. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: учебник для вузов.–М.: Высшая школа, 2001 – 327 с.
13. Волкова Л. Методика проведения SWOT-анализа // [http://market.narod.ru/S\\_StrAn/SWOT.html](http://market.narod.ru/S_StrAn/SWOT.html).
14. Криницына З.В., И.Г. Видяев Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебно-методическое пособие – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
15. Криницына З.В. Ресурсоэффективность отрасли: Учебное пособие /З.В.Криницына. – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2013. – 182 с.
16. Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно – регулируемых асинхронных электроприводах.–Чебоксары: Изд-во Чуваш. Ун-та,1998.–172с.
17. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. управление электроприводами: учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат: Ленинград отд – ние, 1982.–392 с.
18. ГОСТ 12.0.003–74 «Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
19. ГОСТ 12.0.0.002–80 «Система стандартов безопасности труда. Термины и определения».
20. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

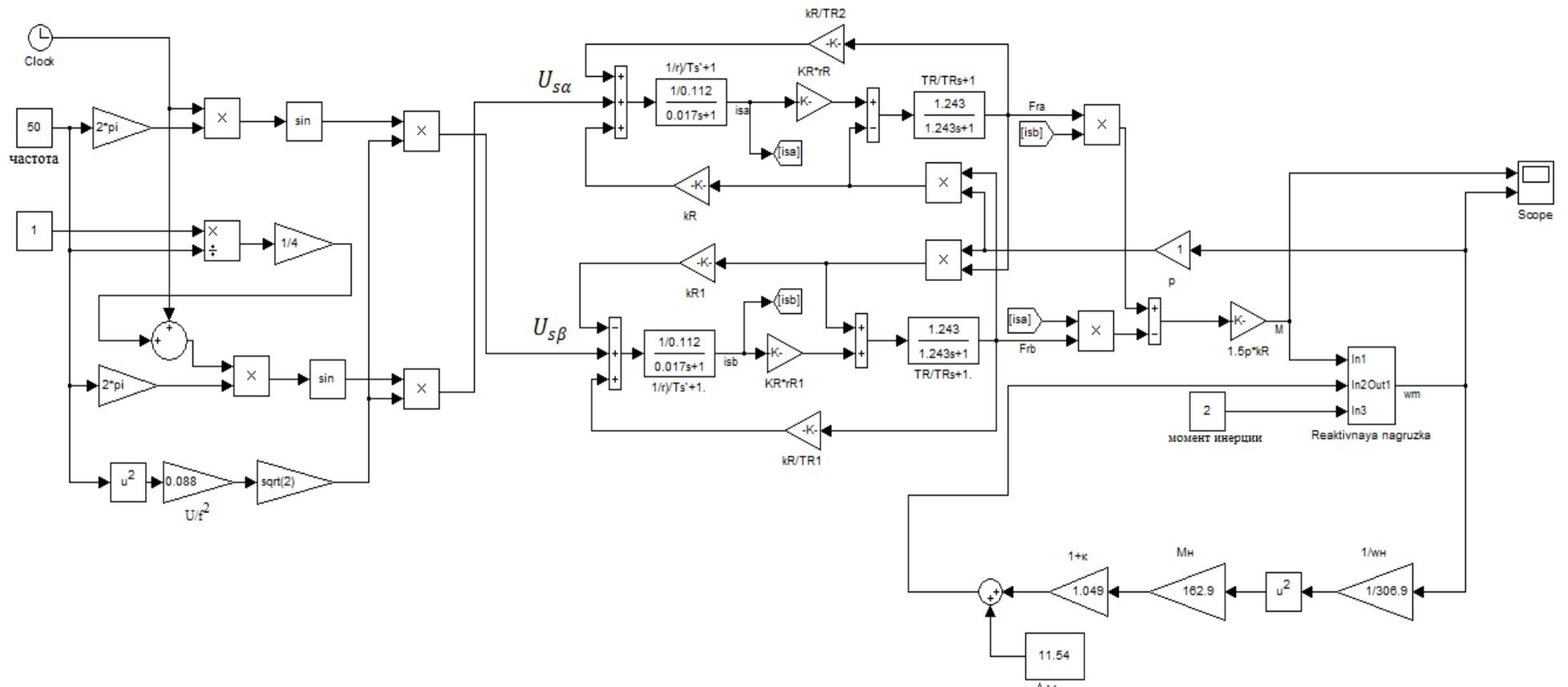
Графический материал

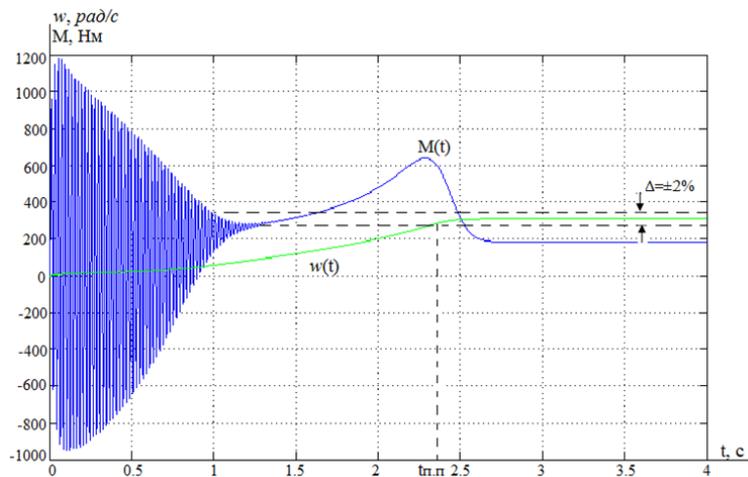
Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением



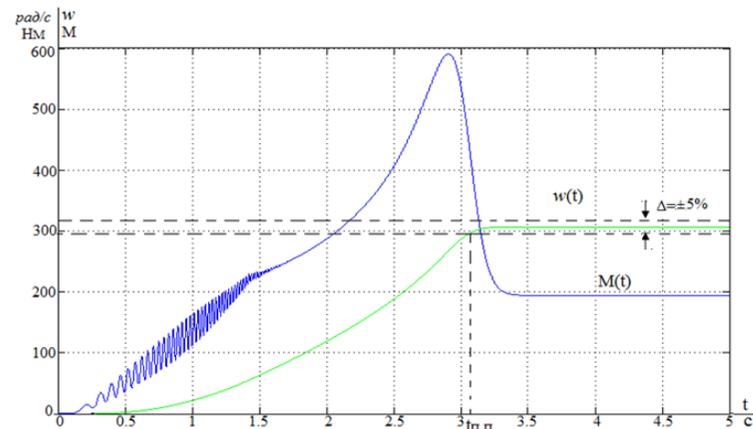


ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ В НЕПОДВИЖНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ И ВЕНТИЛЯТОРНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ЗАКОНЕ  $U_1/f_1^2 = const$

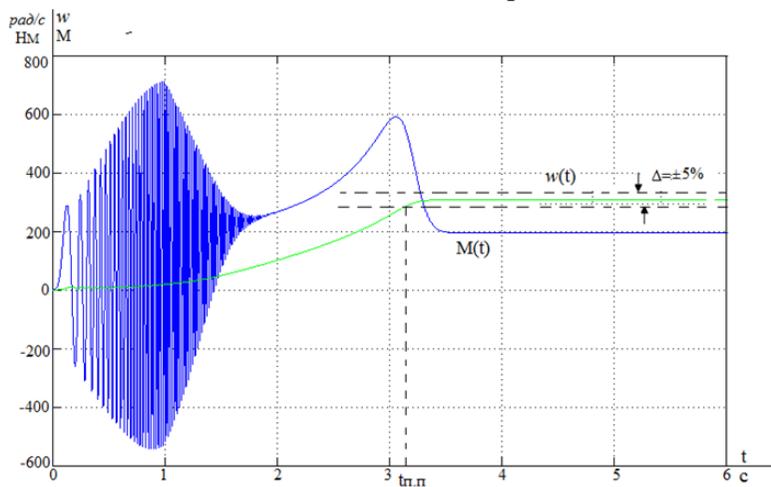




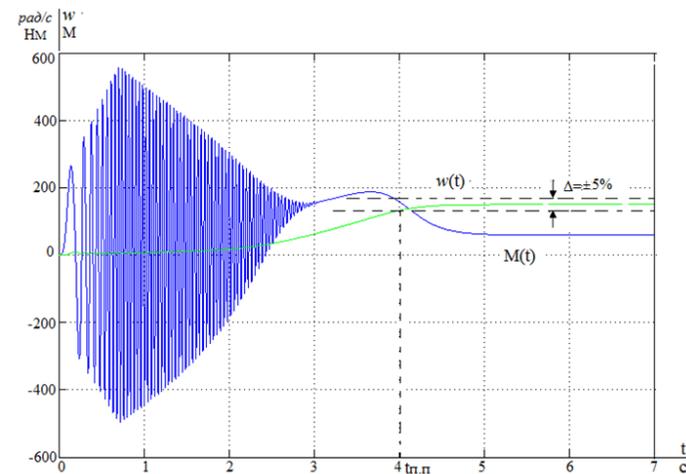
Результаты моделирования АКЗ в неподвижной системе координат



Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой при законе при частоте 50 Гц



– Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой при настройке вольт – частотной характеристики при частоте 50 Гц



Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой при настройке вольт – частотной характеристики при частоте 15 Гц

### Диаграмма Ганта

| № этап работ | Вид работ   | Исполнители | Продолжительность одной работы дн. | Продолжительность выполнения работ по декадам |       |       |       |        |   |     |       |     |   |       |  |   |
|--------------|---|-------------|------------------------------------|---|-------|-------|-------|--------|---|-----|-------|-----|---|-------|--|---|
|              |   |             |                                    | Фев.  | Март  |       |       | Апрель |   |     | Май   |     |   | Июнь  |  |   |
|              |   |             |                                    | 3   | 1     | 2     | 3     | 1      | 2 | 3   | 1     | 2   | 3 | 1     |  |   |
| 1            | Составление ТЗ  | Р           | 1                                  | -   |       |       |       |        |   |     |       |     |   |       |  |   |
| 2            | Изучение литературы                                       | Д           | 10                                 |   | ————— |       |       |        |   |     |       |     |   |       |  |   |
| 3            | Сбор исходных данных                                      | Д           | 10                                 |   |       | ————— |       |        |   |     |       |     |   |       |  |   |
| 4            | Подготовка и ввод данных в ЭВМ                            | Д           | 10                                 |   |       |       | ————— |        |   |     |       |     |   |       |  |   |
| 5            | Расчет на ЭВМ нагрузок вентилятора                        | Д           | 15                                 |   |       |       | ————— |        |   |     |       |     |   |       |  |   |
| 6            | Выбор оборудования  | Д           | 5                                  |   |       |       |       | ———    |   |     |       |     |   |       |  |   |
|              |   | Р           | 1                                  |   |       |       |       |        |   | ——— |       |     |   |       |  |   |
| 7            | Расчет элементов электропривода, построение характеристик | Д           | 15                                 |   |       |       |       | —————  |   |     |       |     |   |       |  |   |
|              |   | Р           | 1                                  |   |       |       |       |        |   |     |       | ——— |   |       |  |   |
| 8            | Проверка правильности выбора оборудования                 | Р           | 15                                 |   |       |       |       |        |   |     | ————— |     |   |       |  |   |
|              |   | Д           | 1                                  |   |       |       |       |        |   |     |       |     |   | ———   |  |   |
| 9            | Оформление пояснительной записки                          | Д           | 10                                 |   |       |       |       |        |   |     |       |     |   | ————— |  |   |
| 10           | Сдача проекта   | Р           | 1                                  |   |       |       |       |        |   |     |       |     |   |       |  | - |
|              |   | Д           | 1                                  |   |       |       |       |        |   |     |       |     |   |       |  | - |