

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Применить устройство плавного пуска для дымососа ВЦ 4 - 76 удовлетворяющий следующим техническим требованиям и характеристикам.

1. Преобразователь должен обеспечить плавный пуск двигателя не более чем за 5 секунд.

2. Режим работы – продолжительный, нагрузка реактивная.

3. Погрешность поддержания заданной частоты не более 10 % на нижней рабочей скорости.

4. Управление электроприводом - ручное, с пульта управления обслуживающим персоналом, в автоматизированном режиме поддержания давления с возможностью интеграции в систему управления более высокого уровня.

5. Электродвигатель должен быть предназначен для работы в условиях повышенной температуры, иметь закрытое исполнение со степенью защиты не ниже IP54.

6. Преобразователь должен быть предназначен для работы в закрытых стационарных помещениях при температуре окружающего воздуха от 5° до 45°С и относительной влажности не более 80% .

7. Система управления электроприводом должна обеспечивать надежную защиту от перегрузок и аварий, простоту управления и обслуживания.

8. Сеть трёхфазная, $380 \pm 10\%$ В, 50 ± 1 Гц.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 91 страница, 27 рисунков, 17 таблиц, 11 источник.

УСТРОЙСТВО ПЛАВНОГО ПУСКА ДЫМОСОСА ВЦ 4 - 76, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ, СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ.

Объектом выпускной квалификационной работы является электропривод вентилятора. Цель работы – разработка и исследование асинхронного частотно-регулируемого электропривода вентилятора.

В выпускной квалификационной работе был произведён расчет и выбор приводного двигателя; преобразователя частоты, а также определены параметры силовой цепи. Обоснован выбор способа управления, рассчитаны механические и электромеханические характеристики. Методом имитационного моделирования на ЭВМ исследованы переходные процессы в основных режимах работы.

В разделе экономики произведен расчет сметы на пуско-наладочные работы электропривода вентилятора ВЦ4-76

В разделе безопасность и жизнедеятельность труда рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности. Проанализированы опасные и вредные факторы производства.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord 2010, в работе использованы программы MathCAD, MicrosoftVisio 2010, MicrosoftPowerPoint, Simulink (MatLab).

ВВЕДЕНИЕ

Вентиляторы - механические устройства, служащие для перемещения воздуха по воздуховодам, или непосредственной подачи либо забора воздуха из помещения. Перемещение воздуха происходит из-за создания перепада давления между входом и выходом вентилятора.

Вентиляторы классифицируются по многим параметрам, таким как:

- а) конструкция и принцип действия: могут быть осевыми, радиальными и диаметрными
- б) в зависимости от величины полного давления: могут быть низкого (до 2 кПа), среднего (до 5 кПа) и высокого давления (до 15 кПа)
- в) в зависимости от направления вращения рабочего колеса: могут быть правого и левого вращения
- г) в зависимости от состава перемещаемой среды: обычные, термостойкие, взрывобезопасные, пылевые и т.д.

Основными характеристиками вентиляторов являются следующие параметры:

расход воздуха, м³/ч;

полное давление. Па;

частота вращения, об/мин;

потребляемая мощность, затрачиваемая на привод вентилятора, кВт;

КПД - коэффициент полезного действия вентилятора, учитывающий, механические потери мощности на различные виды трения в рабочих органах вентилятора., объемные потери . результате утечек через уплотнение и аэродинамические потери в проточной части вентилятора;

уровень звукового давления, дБ

Самые популярные типы вентиляторов

Самые популярные и спрашиваемые на рынке типы **вентиляторов** (по различным классификациям) - следующие:

Осевые
Потолочные
Центробежные
Канальные
Вытяжные
Взрывозащищенные
Бытовые
Промышленные
Крышные
Вентиляторы дымоудаления
Приточные
Тангенциальные
Оконные (настенные)

Промышленные вентиляторы применяются в системах вентиляции квартир, офисов, коттеджей, производств и т.п., то есть, там, где необходимо подавать в помещение или удалять из помещения достаточно большие объемы воздуха. Производительность **промышленных вентиляторов** может достигать 75 000 м³/час. **Промышленные вентиляторы** изготавливаются из металла. Но есть в некоторых моделях и исключения, например, в вентиляторах для агрессивных сред.

Бытовые вентиляторы предназначены обеспечения вытяжки или притока воздуха в помещениях небольшого объема, таких как, ванная комната, санузел, котельная, бытовка, подвал, подсобные помещения и т.п. **Вентиляторы** могут быть оснащены системой автоматики, которая в зависимости от исполнения может включать их по сигналу от таймера, гигростата, датчика движения и т.д. Как правило, все **бытовые вентиляторы** изготавливаются из пластика. **Бытовые вентиляторы** также подразделяются по видам исполнения на центробежные, осевые, оконные, **вентиляторы** для усиления каминной тяги и т.д.

Потолочные вентиляторы – это **осевые вентиляторы** с широкими лопастями. Они подвешиваются к потолку и предназначены для перемешивания воздуха в помещениях, таких как, торговые центры, павильоны, крытые спортивные площадки и стадионы, ангары, офисы, квартиры и т.п.

Вентиляторы осевые предназначены для перемещения воздуха в системах вентиляции зданий. Они могут использоваться как для непосредственной установки в канал воздуховода, так и для настенной установки.

Вентиляторы осевые имеют простую конструкцию: корпус, в котором помещается осевое рабочее колесо с лопатками, и двигатель, обеспечивающий вращение. Эти вентиляторы легко регулировать и обеспечивать большую производительность посредством направления поворота лопаток.

Вентиляторы осевые обладают рядом преимуществ: небольшая площадь для монтажа, возможность управления вращением, малая мощность потребления энергии. Вентилятор осевой канальный применяется для приточной и вытяжной вентиляции в производственных, сельскохозяйственных и административных помещениях.

Вентилятор осевой канальный может эксплуатироваться при температуре от +40°С до -40°С. Он создает направленные воздушные потоки вдоль оси вращения, обеспечивая принудительную циркуляцию воздуха. Вентиляторы осевые гарантируют быструю очистку окружающей атмосферы от разнообразных примесей.

Также, вентиляторы осевые, перемещая объёмы воздуха из внешнего пространства во внутренние помещения способны выполнять функцию кондиционирования.

Радиальный (центробежный) вентилятор состоит из вращающегося ротора, который состоит из лопастей особой спиральной формы. Через входное отверстие ротора воздух засасывается внутрь, где приобретает вращательное движение. Спиральные лопасти и возникшая центробежная сила направляют

воздушный поток в выходное отверстие спирального кожуха. При этом поток воздуха входит по оси вращения ротора, а выходит в радиальной плоскости. **Радиальные вентиляторы**, если сравнивать их с **осевыми вентиляторами**, создают поток воздуха с большим давлением, так как перемещаемым воздушным массам передается дополнительная энергия при переходе от радиуса входа к радиусу выхода. Поэтому такие **вентиляторы** чаще всего используют при создании вентиляционных систем.

В соответствии с ГОСТ **радиальные вентиляторы** по создаваемому ими давлению делятся на **вентиляторы** низкого, среднего и высокого давления. **Радиальные вентиляторы** низкого давления (до 1000 Па) способны развивать скорость вращения не выше 50 м/с, при этом рабочие колеса **вентилятора** имеют лопасти с большой рабочей поверхностью. Такие **вентиляторы** комплектуются лопастями загнутыми назад. Если же в **вентиляторе** применяются широкие колеса, то профильные лопасти применяют с чуть наклонным или плоским передним диском. **Радиальные вентиляторы** среднего давления (до 3000 Па) развивают максимальную окружную скорость не выше 80 м/с. Лопасти **вентиляторов** среднего давления могут быть загнуты по направлению движения рабочего колеса или против направления движения рабочего колеса. **Радиальные вентиляторы** высокого давления могут создавать давление нагнетаемого воздуха свыше 3000 Па. На давление более 10000 Па создают **вентиляторы** с узкими рабочими колесами (напоминают компрессорные) и малой быстроходностью. Скорость вращения таких **вентиляторов** может достигать и 200 м/с.

По скорости вращения **вентиляторы** делятся на большой, средней и малой скорости вращения. **Вентиляторы** с большой скоростью вращения обладают широкими рабочими колесами с небольшим количеством загнутых назад лопастей. **Вентиляторы** со средней скоростью вращения могут быть, как оснащены колесом барабанного типа с загнутыми вперед лопастями и большим диаметром входного отверстия, так и рабочими колесами меньшей ши-

рины с загнутыми назад лопатками. **Вентиляторы** с малой скоростью вращения характеризуются небольшими диаметрами входного отверстия, узкими рабочими колесами с загнутыми или вперед, или назад лопастями, а также на небольшую ширину раскрытым спиральным корпусом.

В вентиляционных системах с разветвленной сетью воздуховодов, системах воздушного отопления и кондиционирования целесообразнее использовать **радиальные (центробежные) вентиляторы**. Это связано с тем, что **радиальные вентиляторы** обеспечивают минимальные потери производительности и высокое качество вентиляции. Например, **радиальные вентиляторы** применяют в системах дымоудаления, для подачи воздуха в сушильное или фильтровальное оборудование. **Радиальные (центробежные) вентиляторы** также применяются также в кухонных бытовых вытяжных установках.

1. Технологический процесс обжига керамического кирпича в туннельной печи

В современное время производство кирпича является одним из самых актуальных и наиболее приоритетных направлений в строительной индустрии. Для обжига этого строительного материала используется механизированная туннельная печь. Обжиг кирпича необходим для того, чтобы придать изделию особенную прочность и повышенную устойчивость к различным механическим или химическим воздействиям.

Такая печь представляет собой прямой туннель, с проложенным внутри нее рельсовым путем, по которому двигается в соответствии с заданным режимом состав с вагонетками. Движение вагонеток осуществляется посредством толкателей, которые бывают винтовые или гидравлические. Вагонетки имеют металлический каркас, отличающийся особой жесткостью, на котором размещается огнеупорная футеровка.

В нашей туннельной печи применяется очень качественная футеровка, из огнеупорных бокситов с высоким содержанием гидроокиси алюминия.

На эту футеровку складываются кирпичи, предназначенные для обжига. Данный туннель может быть разного размера в зависимости от производительности печи и объема обжигаемой продукции. Длина данной печи составляет 100 метров. А высота печи от рельсов до свода возможна в пределах 2,7 метров.

Печь для обжига кирпича оборудована входной и выходной камерами, которые находятся, соответственно, в начале и в конце конструкции. При выкатывании или закатывании вагонеток обе камеры закрываются на затворы, обеспечивая, тем самым, полную герметичность печи. Во время подачи вагонетки в печь, заслонки автоматически поднимаются, а когда при помощи толкателей вагонетка выкатывается из туннеля, то срабатывает механизм опускания заслонок.

Помимо этого, в стенках туннельной печи имеются определенные отверстия, через которые, периодически, засыпается песок, попадающий в специальный песчаный затвор. Этот затвор расположен вдоль всей печи и не позволяет попадать продуктам горения из рабочей части в подвагонеточное пространство.

Конструкция печи условно разделена на три зоны:

1. Подготовительная зона прогрева;
2. Основная зона обжига;
3. Завершающая зона охлаждения.

В стенках туннеля, расположенных в зоне обжига, есть специальные горелочные устройства, в которых сжигается топливо. Для бесперебойного функционирования туннельных печей используется, чаще всего, природный газ. Но также в качестве топлива в некоторых печах применяется уголь. За один период в туннельной печи можно произвести обжиг более 70 тысяч кирпичей. Температура обжига кирпичей, как правило, варьируется в диапазоне 920-980 градусов. Длительность обжига строительного изделия может быть 24-48 часов и зависит от вида кирпича.

Процесс обжига

Кирпичи, предназначенные для обжига, укладываются на вагонетки. Для того чтобы избежать нежелательной деформации обжигаемых изделий, их укладывают на вагонетки высотой не более одного метра. Во время процесса обжига вагонетки через определенные промежутки времени, непрерывно, друг за другом, перемещаются в туннельной печи. В течение этого времени происходит равномерный прогрев кирпичей за счет нагретого воздуха, потом выполняется непосредственный обжиг изделий, а в завершающей стадии осуществляется постепенное охлаждение обжигаемой продукции, находящейся в вагонетках.

Весь процесс контролируется с помощью программного комплекса, благодаря которому можно отследить:

- как соблюдается режим обжига;
- какая температура поддерживается в вагонеточном канале;
- какой уровень давления воздуха, подаваемого в печь;
- какое качество садки и т.д.

Садка кирпича на вагонетки, как правило, производится вручную. Вагонетки передвигаются на расстоянии, равном длине отдельной вагонетки. На последнем этапе готовый кирпич подается на садку при помощи механизированной тележки, после чего проходит контроль качества. Воздух в печи поступает по рециркуляционным каналам, так называемым воздуховодам, которые расположены вдоль туннельной печи, а также нагревается и охлаждается с помощью вентиляторов и дымососов. Такие воздуховоды в полной мере обеспечивают подачу прогретого воздуха в зону прогрева и зону обжига туннельной печи. А при помощи вентиляторов холодный воздух попадает в зону охлаждения. Излишки воздуха и продукты горения отсасываются посредством дымососов в сушильные камеры.

Рис. 1.1. Технологическая схема туннельной печи

Устройство плавного пуска — это электротехническое устройство, которое используют для плавного пуска асинхронных электродвигателей с «вентиляторной» (квадратично зависимой от скорости) характеристикой нагрузочного момента, которое позволяет во время запуска удерживать параметры двигателя (тока, напряжения) в безопасных пределах. Его применение обеспечивает ограничение скорости нарастания и значения пускового тока путем плавного нарастания напряжения на обмотках статора от нуля до номинального значения в течение заданного времени. Это позволяет уменьшить вероятность перегрева двигателя, исключает рывки в механических приводах, что, в итоге, повышает срок службы электродвигателя, а также его привода.

Принцип действия, Устройств Плавного Пуска (УПП)

Плавный пуск и остановка обеспечивается благодаря плавному наращиванию или уменьшения напряжения в питающих фазах электродвигателя. В зависимости от характера нагрузки используются две или три регулируемые фазы. Напряжение в фазе регулируется парой тиристоров, расположенных встречно параллельно. За счет изменения угла открытия тиристоров изменяется выходное действующее напряжение на обмотках двигателя, причем выходная частота остается равной сетевой. Т.к момент на выходном валу электродвигателя магнитно-электрически связан с входным напряжением, то следовательно программируя УПП на заданные кривые возрастания или убывания выходного напряжения можно достичь оптимальные пусковые и тормозные характеристики электропривода.

Преимущества использования устройств плавного пуска для электродвигателей:

- отсутствие рывков и дерганий при пуске, плавный выход на номинальную скорость;
- значительное увеличение срока службы редукторов, муфт, шпонок, валов, подшипников;
- снижение пусковых токов электродвигателя со стандартных 600-800% до 250-400%;

- защита и диагностика электродвигателей при перегрузке, обрыве фаз, заклинивании и др. (не во всех моделях);
- функция плавного останова для насосов позволяет предотвратить гидроудар из-за быстрой остановки насоса;
- бесконтактная коммутация и высокий срок службы устройств;

1.1. Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода для вентилятора

По сравнению с электрическими двигателями постоянного тока модели асинхронного типа имеют ряд неоспоримых преимуществ. У них проще конструкция; исходя из этого обслуживать асинхронный двигатель проще и удобнее. Именно поэтому в различных областях энергетики и промышленности преобладают более простые в обращении конструкции, особенно же это целесообразно в городской инфраструктуре.

Скорость вращения асинхронных двигателей изменяется с помощью преобразователя частоты: частотно-регулируемый электропривод и является статическим преобразовательным устройством. Общеизвестны несколько распространённых способов регулировать скорость вращения исполнительных механизмов с помощью следующих устройств и методов.

Гидравлическая муфта, дополнительные сопротивления фазного ротора или статора, механический вариатор и преобразователь частоты электромеханического типа имеют ряд недостатков. Они сложны в эксплуатации, обслуживании, порой имеют невысокое качество и ограниченный диапазон регулирования, вследствие чего данные методы нельзя назвать экономически выгодными. Если же применяется частотно-регулируемый электропривод, то перечисленные недостатки отсутствуют.

Скорость вращения в данном случае регулируется изменением частоты и характеристиками напряжения питания электродвигателя. Эффективность та-

кого подхода неоспорима - КПД составляет 98%, причём контроль параметров происходит при помощи микропроцессорной системы управления, что значительно снижает возможность возникновения аварий и неполадок.

Стандартные запросы большинства организаций и предприятий - экономия и рациональное использование энергоресурсов, увеличение срока службы и эффективная работа техники, экономия средств за счёт снижения финансовых трат на ремонтные и профилактические работы, а так же контроль и управление технологических процессов.

Именно частотно-регулируемый электропривод позволяет экономить электроэнергию в значительном объёме, например: при использовании насоса регулируется давление в сети, расход воды и прочие параметры, при использовании конвейера регулируется его скорость для оптимальной производительности труда. Оптимизируется работа следующих устройств: насосы, транспортёры и конвейеры, дымососы и вентиляторы, подъёмные устройства, лифты, и пр.

С успехом применяется частотное регулирование на объектах, которые обеспечивают транспортировку различных видов жидкостей. Традиционный способ регулировки, который нельзя назвать высокоэффективным, - это использование системы заслонок и задвижек, разнообразных клапанов, регулирующие количество подаваемой жидкости. Частотное регулирование позволяет производить корректировку подачи жидкости, например, теплоносителя в отопительной системе с помощью контролируемого воздействия на рабочие механизмы насосного оборудования.

Преимущества преобразователей частоты. Главное преимущество использования преобразователей частоты – это, пожалуй, расширение области применения асинхронных электродвигателей за счет решения задачи регулирования их скорости вращения. Не секрет, что, в общем-то, неприхотливые, относительно дешевые и достаточно надежные асинхронные электродвигатели имеют большой недостаток – сложность регулирования их частоты вращения. Появление преобразователей частоты этот вопрос полностью решило.

Использование частотных преобразователей снижает затраты электроэнергии, потребляемой электродвигателем, что экономически оправдывает его использование. Таким образом, количество сэкономленной электроэнергии может составить до 60%. Кроме того, нельзя не отметить:

- возможность плавного разгона и торможения двигателя
- регулирование с очень высокой точностью частоты вращения вала от нуля и выше номинальной
- ограничение пусковых и рабочих токов в пределах номинального
- существенное увеличение срока службы электрической и механической частей электродвигателя
- высокого уровня функциональности, производительности и энергоэффективности оборудования

2.3. Расчет естественных характеристик электродвигателя

Расчет естественных характеристик проводится с целью оценки степени совпадения параметров основных характерных точек расчетных естественных характеристик электродвигателя с параметрами двигателя определенными по справочным техническим данным выбранного электродвигателя [3].

Расчет естественной механической характеристики

Естественная механическая характеристика $\omega(M)$ асинхронного электродвигателя рассчитывается для частоты $f_{и}=f_{1н}=50$ Гц по выражению

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

Задаем ся скольжением в пределах $s = 0.01, 0.02, \dots, 0.5$ и рассчитываем по программе *Mathcad* естественную механическую характеристику $\omega(M)$ (рис. 2.2), где $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$.

Также рассчитываем номинальное значение электромагнитного момента двигателя $M_{\text{эм.н}}$

$$\begin{aligned} M_{\text{эм.н}}(s_H) = M_{\text{эм.н}} &= \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,032}{157 \cdot 0,014 \cdot \left[0,458^2 + \left(0,05 + \frac{0,072}{0,014} \right)^2 + \left(\frac{0,05 \cdot 0,072}{0,014 \cdot 7,17} \right)^2 \right]} = 367 \text{ Нм}; \end{aligned}$$

критического скольжения

$$s_K = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_\mu} \right)^2}{R_1^2 + X_{KH}^2}} = 0,072 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{0,05}{7,17} \right)^2}{0,05^2 + 0,458^2}} = 0,069$$

и электромагнитного критического момента

$$\begin{aligned} M_{\text{эм.н}}(s_K) = M_{\text{эм.к}} &= \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2}{\omega_0 \cdot 2 \cdot \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{KH}^2) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{X_\mu} \right)^2} \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2}{157 \cdot 2 \cdot \left[0,05 + \sqrt{(0,05^2 + 0,458^2) \cdot \left(1 + \frac{0,05}{7,17} \right)^2} \right]} = 904,9 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

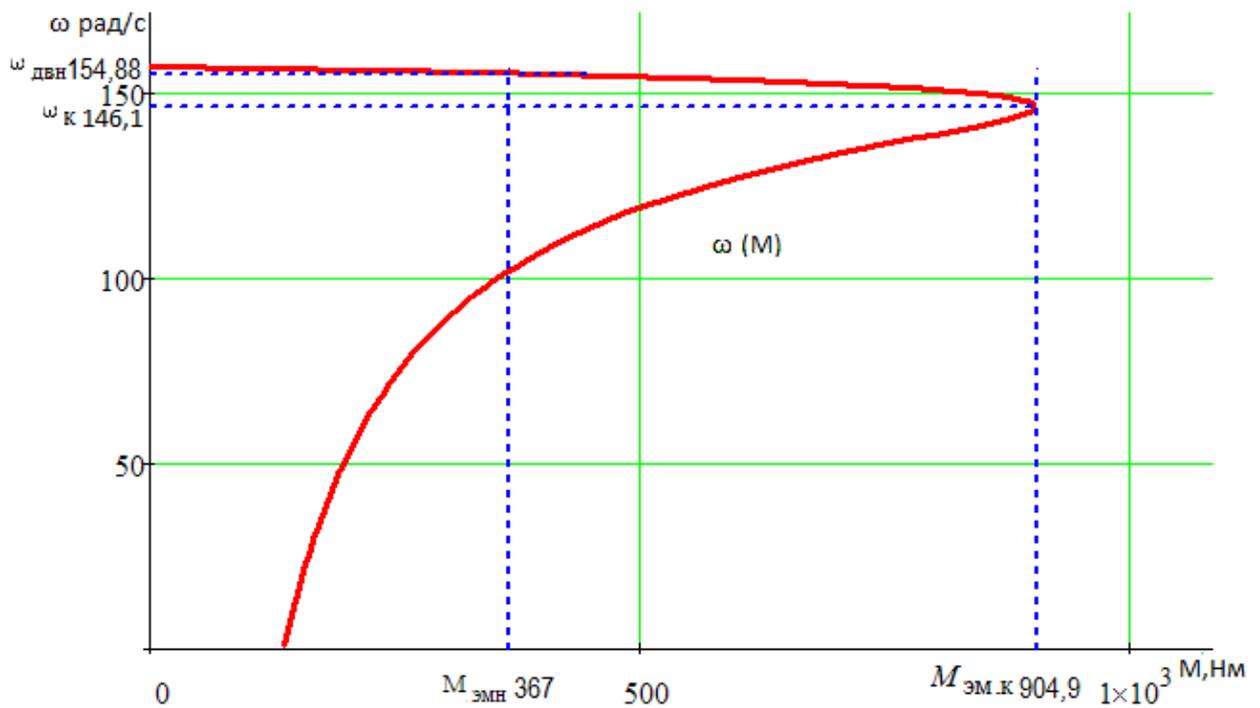


Рисунок 2.2 – Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя

Расчет естественной электромеханической характеристики

Естественная электромеханическая характеристика $I_1(s)$ электродвигателя рассчитывается для значения частоты $f_{и} = f_{1н} = 50$ Гц по выражению

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)}, \quad (2.1)$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1фн}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{кн})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}})^2}}; \quad (2.2)$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{кн}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{кн})^2}}. \quad (2.3)$$

По вышеприведенным выражениям для скольжений $s = s_{н}$ и $s \rightarrow 0$ рассчитываются значения тока статора $I_1(s_{н})$ и тока холостого хода I_0

$$I_0 = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\delta} + X_\mu)^2}} = \frac{220}{\sqrt{0,05^2 + (0,19 + 7,17)^2}} = 29,9 \text{ A},$$

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

$$= \sqrt{29,9^2 + 75,3^2 + 2 \cdot 29,9 \cdot 75,3 \cdot 0,158} = 102,5 \text{ A},$$

где

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

$$= \frac{220}{\pm \sqrt{(0,05 + \frac{0,032}{0,014})^2 + (0,458)^2 + (\frac{0,05 \cdot 0,032}{0,014 \cdot 7,17})^2}} = 92,4 \text{ A};$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s_H})^2 + (X_{KH})^2}} = \frac{0,458}{\sqrt{(0,05 + \frac{0,032}{0,014})^2 + (0,458)^2}} = 0,158;$$

По результатам расчета строим естественные электромеханические характеристики токов статора $I_1 = f(\omega)$ и ротора $I_2' = f(\omega)$, приведенные на рисунке 2.3.

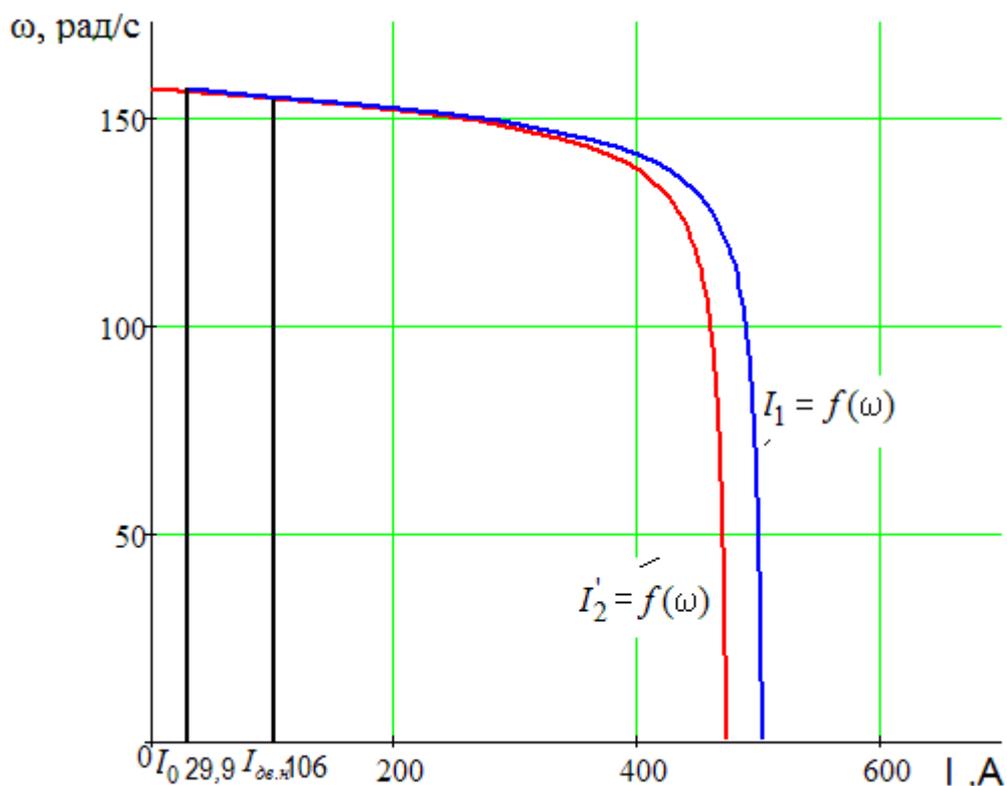


Рисунок 2.3 – Естественные электромеханические характеристики асинхронного электродвигателя

Сравнив значения расчетных параметров характерных точек естественных характеристик двигателя с его справочными данными приведенными в таблице 2.1 и рассчитанными в главе 2, можно сделать вывод об адекватности расчетных параметров схемы замещения двигателя.

Механическая характеристика вентилятора в режиме работы с максимальным давлением

Поскольку механическая характеристика двигателя рассчитана 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

$$\Delta M_{с\ дв} = M_{эм\ н} - M_{дв\ н} = 367 - 355,1 = 11,9 \text{ Нм}. \quad (2.4)$$

Поскольку напор, развиваемый вентилятором, как показано в [8] пропорционален квадрату частоты вращения, то статический момент сопротивления на валу двигателя $M_c(\omega)$ изменяется в зависимости от скорости вращения двигателя в соответствии с выражением

$$\begin{aligned} M_c(\omega) &= \Delta M_{с\ дв} + (M_{с.макс} - \Delta M_{с\ дв}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{дв.н}} \right)^2 = \\ &= 11,9 + (367 - 11,9) \cdot \left(\frac{\omega}{154,9} \right)^2, \end{aligned} \quad (2.5)$$

где $M_{с.макс} = M_{эм\ н} = 367$ Нм - момент нагрузки при скорости вращения $\omega_{дв.н} = 154,9$ рад/с, равный номинальному электромагнитному моменту двигателя.

Принимаем момент инерции вентилятора $J_{вен} = 3J_{дв} = 3 \cdot 0,2 = 0,6 \text{ кг м}^2$, тогда момент инерции электропривода равен

$$J_{э} = J_{дв} + J_{вен} = 0,6 + 0,2 = 0,8 \text{ кг м}^2.$$

Механические характеристик полного момента сопротивления на валу двигателя, соответствующих механическим характеристикам вентилятора, приведены на рис. 2.4.

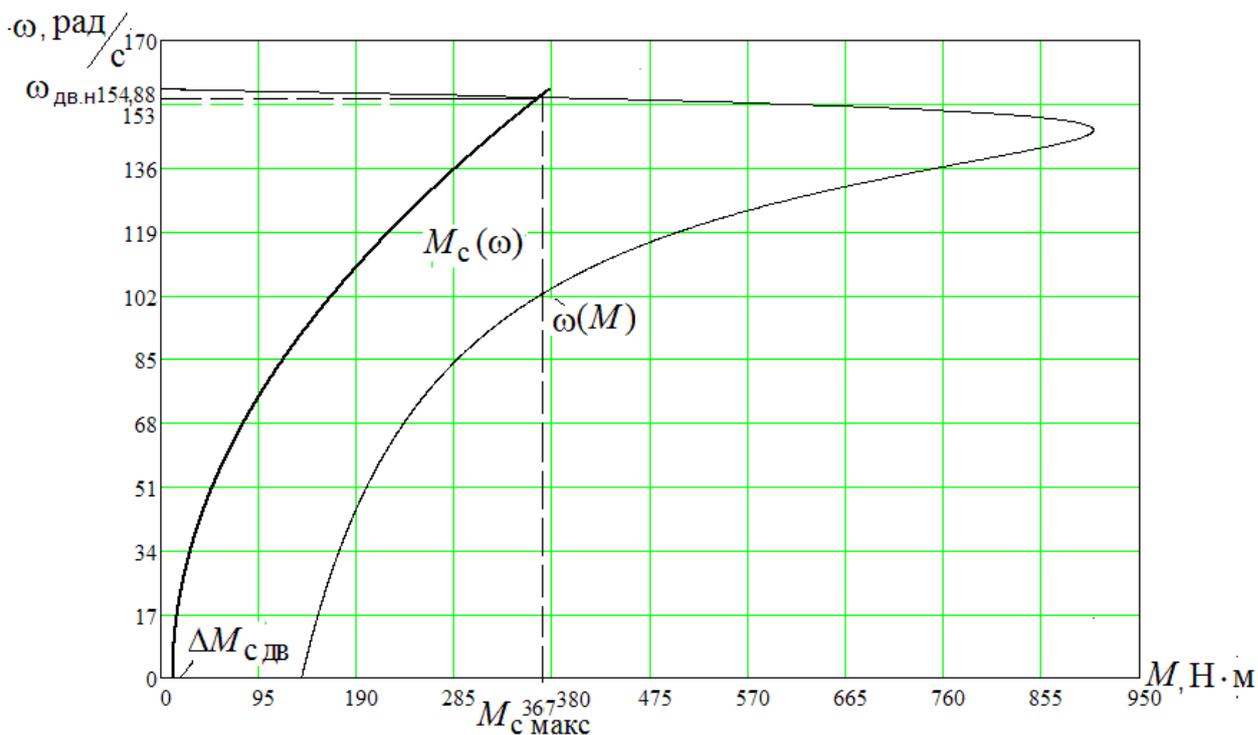


Рисунок 2.4 - Естественная механическая характеристика двигателя $\omega(M)$ и характеристики полного момента сопротивления на валу двигателя $M_c(\omega)$

Из анализа приведённых на рис. 2.4 характеристик следует, что электродвигатель АИР255М4 обеспечивает требуемое значение максимальной скорости вентилятора ВЦ 4 – 76 $\omega_{дв.н} = 154,8$ рад/с, длительную работу при максимальном моменте нагрузки и более чем двукратную перегрузку по моменту.

3. Обзор систем управления и способов регулирования электропривода

3.1. Системы управления электроприводом

Многие ведущие электротехнические корпорации мира сегодня выпускают регулируемые автоматизированные электроприводы (АЭП) комплектно с микропроцессорными средствами автоматизации в виде гибко программируемых систем, предназначенных для широкого использования. Поэтому актуальность проектирования АЭП вентиляторного агрегата, выпол-

ненного в общепромышленном исполнении заключается в решении задачи выбора системы управления электроприводом (СУЭП) для максимального повышения эффективности работы и производительности технологического оборудования.

Исходя из требований к СУЭП, при проектировании предлагаются к рассмотрению две схемы управления: схема векторного регулирования и схема скалярного управления электроприводом вентиляторной установки, выполненными по системе преобразователь частоты - короткозамкнутый асинхронный электродвигатель (ПЧ-АД).

Выбор способа и принципа управления производится на основании требований к регулированию скорости и показателям качества регулирования: диапазону регулирования, плавности, точности поддержания заданной скорости. Обязательно учитываются динамические показатели качества процесса регулирования: быстродействие, перерегулирование и др. Кроме того, при выборе системы управления электроприводом обязателен учет характера нагрузки, создаваемой рабочим механизмом. Частотное управление электродвигателями осуществляется двумя основными способами [7].

Скалярный принцип частотного управления является наиболее распространенным в электроприводе. Ему свойственна техническая простота измерения и регулирования абсолютных значений переменных АД. Управление осуществляется по функциональной характеристике, связывающей напряжение и частоту статора электродвигателя (U/f - характеристике), с применением модуля IR-компенсации для поддержания постоянства потокосцепления статора в соответствии с этой характеристикой. В статических режимах позволяет добиться за счет обратных связей желаемых свойств электропривода. Применяется для электроприводов, в которых отсутствуют высокие требования к динамике.

Векторный принцип управления базируется на принудительной взаимной ориентации векторов потокосцеплений и токов АД в полярной или декартовой системах координат в соответствии с заданным законом регулиро-

вания. За счет регулирования модулей переменных и углов между их векторами обеспечивается управление АД как в статике, так и в динамике, обеспечивая тем самым заметное улучшение качества переходных процессов. Именно этот факт является определяющим при выборе системы с векторным управлением и находит применение в электроприводах со средней и высокой динамикой. Приводы таких механизмов как вентиляторы занимают промежуточное положение между высоко динамичными, динамичными и низко динамичными.

В приводах длительного режима работы с постоянной скоростью, диапазоном регулирования скорости не больше 1:10 и без особых требований к динамике целесообразно применение простейших структур и законов частотного управления [9]. Поэтому целесообразно скалярный принцип частотного управления применить при проектировании СУЭП по системе ПЧ-АД вентиляторной установки [7].

3.2. Выбор закона частотного регулирования

Закон частотного регулирования U_1/f_1 при скалярном управлении выбирается в зависимости от характера нагрузки производственного механизма. Для механизмов с постоянной нагрузкой выбирается закон управления $U_1/f_1 = \text{const}$, для механизмов с «вентиляторной» нагрузкой целесообразно выбрать закон $U_1/f_1^2 = \text{const}$ [9].

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.

3.2.1.Выбор преобразователя частоты

В соответствии с рекомендациями [4] для регулируемого асинхронного электропривода насоса целесообразно использовать преобразователи серии Триол АТ04 фирмы Триол, который разработан специально для применения в области вентиляции.

В соответствии с условием для номинального тока инвертора $I_{ин}$ преобразователя частоты

$$I_{ин} \geq I_{1,лн} = 100,6 \text{ А}$$

выбираем преобразователь частоты модели Триол АТ04, параметры которого приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические параметры преобразователя частоты Триол АТ04

Модель	Число фаз	Напряжение питания, В	Рекомендуемая мощность двигателя, кВт	Номинальный ток, А	Максимальный ток, А	Степень защиты
Триол АТ04	3	380-500	55	110	176	IP56

Общие технические данные преобразователя частоты серии Триол АТ04 представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Характеристики преобразователя частоты Триол АТ04

Напряжение питающей сети	3 фазы, 380-500 В ($\pm 10\%$)
Частота сети, Гц	50
Коэффициент мощности (не менее)	0.98
Максимальная выходная частота, Гц	400
Перегрузка по току (в % от номинального тока в течение 1 мин.)	160%
Способ управления	Квадратичное U/f^2 Режим оптимизации энергопотребления
Диапазон регулирования в разомкнутой системе	1:10
Вид регулятора для управления процессом с замкнутой обратной связью	ПИД
Виды защит	Низкое напряжение, Перенапряжение, Перегрузка по току, Перегрузка по мощности, Короткое замыкание, Перегрев двигателя, Перегрев преобразователя
Дискретные входы (параметрируемые)	6
Фиксированные частоты вращения	8
Релейные выходы	2, параметрируемые 230 В АС / 1.0 А
Аналоговые входы	2 (0 В до 10 В, 2 В до 10 В, -10 В до +10 В, 0/4 до 20 мА)
Аналоговые выходы (параметрируемые)	2 (0/4 до 20 мА)
Последовательный интерфейс	RS485
Уровень защиты	IP20, IP56
Параметры окружающей среды	
температура окружающей среды	От 0°C до +40°C
температура хранения	От -30°C до +70°C
высота над уровнем моря	1000 м
допустимая относительная влажность (без образования конденсата)	95

Внешний вид преобразователя частоты серии Триол АТ04 показан на рисунке 3.1.

Рисунок 3.1. – Преобразователи частоты серии Триол АТ04

Схема подключения преобразователя частоты приведена на рис. 3.2.

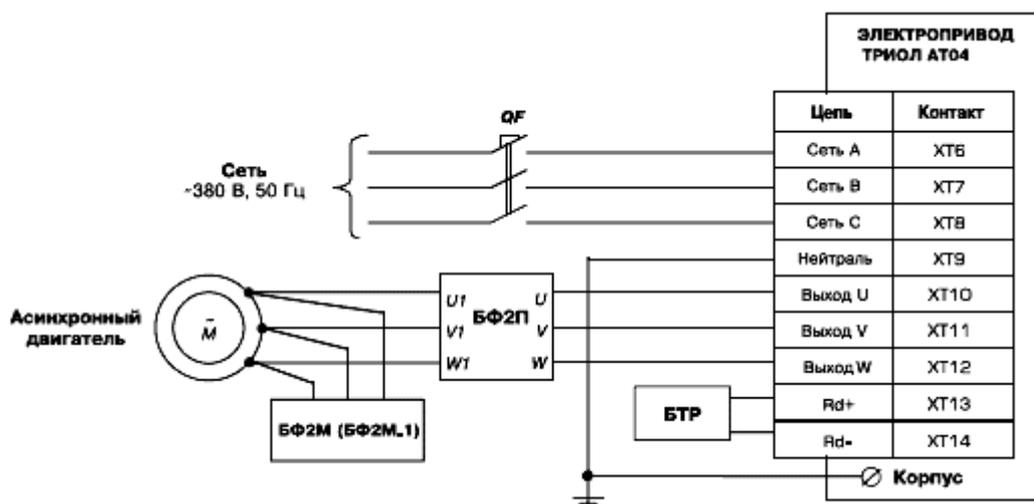


Рисунок 3.2 - Схема подключения преобразователя частоты

4. Расчет статических характеристик системы преобразователь – двигатель при частотном регулировании

Вольт-частотная характеристика преобразователя при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$, рассчитанная по выражению [6]

$$U_1 \cdot f_1 \geq U_{1\text{фн}} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right)^2, \quad (4.1)$$

приведена на рис. 4.1 (характеристика 1).

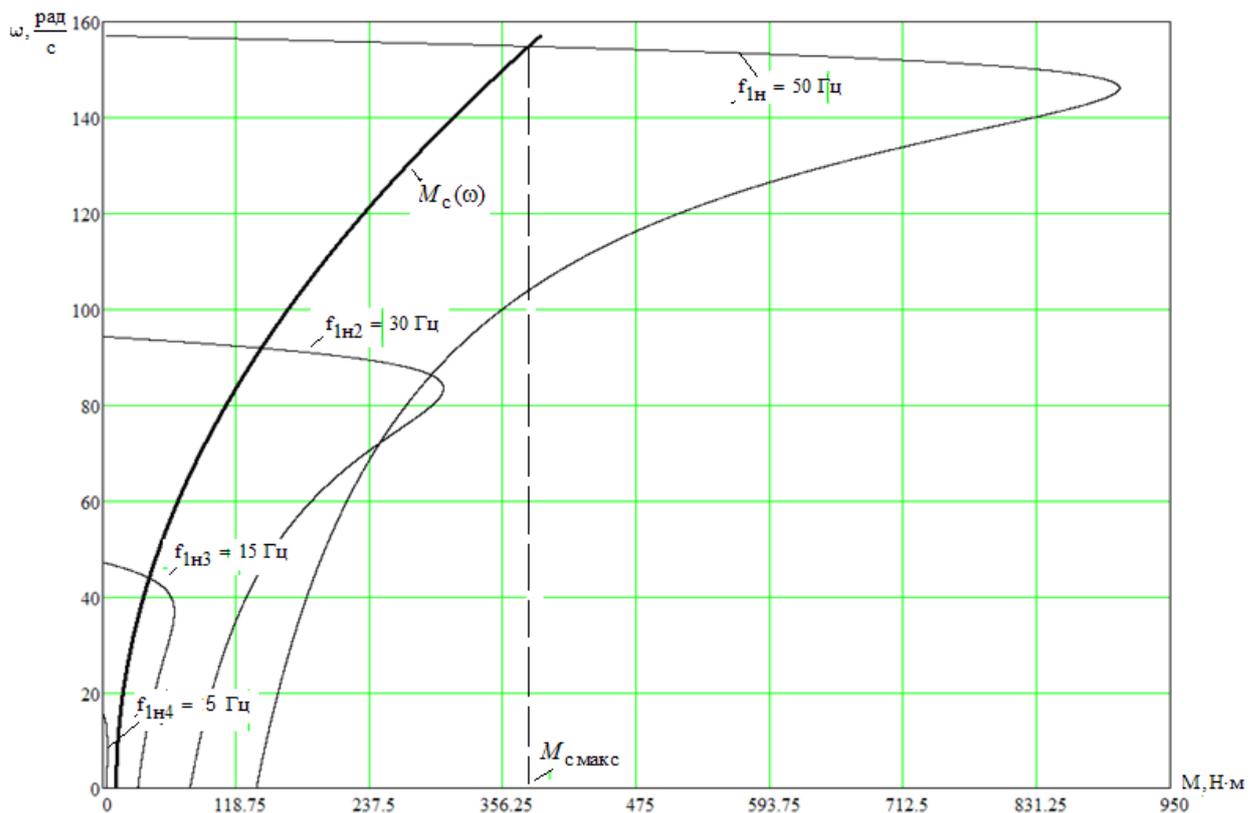


Рисунок 4.1 - Вольт-частотная характеристика преобразователя: 1 - при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ в соответствии с (4.1); 2 - при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ в соответствии с (4.3)

Максимальную частоту инвертора, соответствующую номинальному режиму работы вентилятора определяем из условия обеспечения номинальной рабочей скорости двигателя $\omega_{\text{дв.н}} = 154,9$ рад/с. Принимаем максимальное значение частоты инвертора $f_{\text{и макс}} = f_{1\text{н}} = 50$ Гц. Для обеспечения пусковой характеристики двигателя исходя из требуемого диапазона регулирования скорости 1:10, принимаем минимальную частоту инвертора $f_{\text{и мин}} = 5$ Гц.

4.1. Механические характеристики системы преобразователь-двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Механические характеристики $\omega \tilde{M}$ разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = const$ для ряда выбранных значений выходной частоты инвертора: $f_{1н1}=50$ Гц; $f_{1н2}=30$ Гц ; $f_{1н3}=15$ Гц; $f_{1н4}=5$ Гц рассчитываются с помощью программы *Mathcad* по выражениям [9]:

$$M(s, f_1) = \frac{3 \cdot U_1^2 \cdot f_1 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \cdot s \cdot \left[\left(X_{кн} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}} \right)^2 \right]} \quad , (4.2)$$

$$= \frac{3 \cdot U_1^2 \cdot f_1 \cdot 0,056}{157 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot s \cdot \left[\left(0,458 \cdot \frac{f_1}{50} \right)^2 + \left(0,05 + \frac{0,032}{s} \right)^2 + \left(\frac{0,05 \cdot 0,032}{s \cdot 7,17 \cdot \frac{f_1}{50}} \right)^2 \right]}$$

где

$$U_1 \overset{\sim}{f_1} = U_{1фн} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 = 220 \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2 ;$$

$$\omega(s, f_1) = 157 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot (1-s) .$$

По результатам расчета на рис. 4.2 построено семейство механических характеристик $\omega \tilde{M}$ системы преобразователь – двигатель при изменении частоты.

Рисунок 4.2- Механические характеристики $\omega \tilde{M}$ системы преобразователь – двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = const$:
 $\Delta M_{с.дв} = 5,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $M_{с.макс} = 151,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Анализ приведенных на рис. 4.2 механических характеристик электропривода и нагрузки показывает, что при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ не удастся обеспечить пуск электропривода при выборе начальной частоты инвертора $f_{и.мин} = 5$ Гц.

С целью обеспечения двукратного пускового момента экспериментально выполнен подбор параметров начального участка вольт-частотной характеристики преобразователя. Окончательно выбраны для начального участка характеристики следующие параметры (рис. 4.1): $U_{1мин} = 6$ В, $f_{и.мин} = 5$ Гц.

В результате вольт-частотная характеристика представлена зависимостью

$$U_1 / f_1 = U_{1мин} + U_{1фн} - U_{1мин} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 = 6 + (220 - 6) \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2 \quad (4.3)$$

и приведена на рис. 4.1 (характеристика 2).

Механические характеристики системы преобразователь – двигатель, рассчитанные по выражениям (4.2) с учетом выбранной настройки вольт-частотной характеристики (4.3), приведены на рис. 4.3.

Рисунок 4.3 - Механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (4.3)

4.2 Электромеханические характеристики системы преобразователь-двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Электромеханические характеристики $\omega(I_1)$ разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель после настройки вольт-частотной характеристики преобразователя в соответствии с (4.3) рассчитываются для выбранных ранее значений частоты по выражениям [9]:

$$I_1 s, f_1 = \sqrt{I_0^2 f_1 + I_2^2 s, f_1 + 2 \cdot I_0 f_1 \cdot I_2 s, f_1 \cdot \sin \phi_2 s, f_1} ; \quad (4.4)$$

$$I_0 f_1 = \frac{U_1 f_1}{\sqrt{R_1^2 + X_{1\sigma} + X_{\mu}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} =$$

$$= \frac{U_1 f_1}{\sqrt{0,083^2 + 0,194 + 7,6^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} ; \quad (4.4)$$

$$I_2 s, f_1 = \frac{U_1 f_1}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}} =$$

$$(4.6)$$

$$= \frac{U_1 f_1}{\pm \sqrt{\left(0,05 + \frac{0,032}{s}\right)^2 + \left(0,458 \cdot \frac{f_1}{50}\right)^2 + \left(\frac{0,05 \cdot 0,032}{s \cdot 7,17 \cdot \frac{f_1}{50}}\right)^2}} ;$$

$$\sin \phi_2 s, f_1 = \frac{X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} =$$

$$= \frac{0,458 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}{\sqrt{\left(0,05 + \frac{0,032}{s}\right)^2 + \left(0,458 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} , \quad (4.7)$$

где

$$U_1 f_1 = U_{1\text{мин}} + U_{1\phi\text{н}} - U_{1\text{мин}} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 = 6 + (220 - 6) \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2 ,$$

$$\omega s, f_1 = 157 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot 1 - s .$$

По результатам расчета на рис. 4.4 построено семейство электромеханических характеристик $\omega(I_1)$ системы преобразователь-двигатель.

На рис. 4.3 приведена характеристика полного момента нагрузки $M_c(\omega)$, а на рис. 4.4 соответствующая ей зависимость статического тока нагрузки $I_{1c}(\omega)$, рассчитанная по выражениям (4.4) – (4.7) в интервале частот $f_1 = f_{1н1} \div f_{1н4}$ для значений скольжения s , найденных путем совместного численного решения уравнений для механических характеристик двигателя и нагрузки

Рисунок 4.4 - Электромеханические характеристики электропривода $\omega(I_1)$ при скалярном управлении после настройки вольт-частотной характеристики в соответствии с (4.3)

Анализ приведенных на рис. 4.3 и 4.4 характеристик электропривода и нагрузки показывает, что при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (4.3) асинхронный привод обеспечивает пуск вентилятора с начальной частоты инвертора $f_{и. мин} = 5$ Гц, заданный диапазон регулирования скорости и не менее чем двукратную максимальную перегрузку во всём диапазоне регулирования скорости.

5. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод со скалярным управлением

В силовой канал электропривода входят:

- преобразователь частоты, выполняющий функцию электрического преобразователя;
- электродвигатель, который выполняет функцию электромеханического преобразователя;

- механическая система, которая выполняет функцию механического преобразователя.

При решении задач анализа и синтеза регулируемых асинхронных электроприводов обычно применяются модели электродвигателя, составленные на базе обобщенной электрической машины и выполненные в неподвижной или вращающейся двухфазной системе координат. На рисунке 5.1 приведена структурная схема силового канала непрерывной линеаризованной системы преобразователь - асинхронный электродвигатель в неподвижной системе координат. Входными координатами структурной схемы являются составляющие напряжения управления преобразователя $U_{yn,\alpha}$ и $U_{yn,\beta}$, а выходной величиной – угловая скорость двигателя ω . Структурная схема (рисунок 5.1) характеризуется следующими промежуточными координатами:

$U_{1\alpha}, U_{1\beta}, I_{1\alpha}, I_{1\beta}, \Psi_{2\alpha}, \Psi_{2\beta}$ – составляющие напряжения, тока статора и потокосцепления ротора в ортогональной системе координат α и β ;

$M_{дв.эм}$ – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

Математическое описание силового канала системы преобразователь частоты - асинхронный электродвигатель (ПЧ-АД), в неподвижной системе координат α, β , ориентированной по вектору потокосцепления ротора.

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{1\alpha} = R_{\text{э}} \cdot T_{\text{э}p+1} \cdot I_{1\alpha} - \frac{R_2' \cdot L_{\mu}}{L_2^2} \cdot \psi_{2\alpha} - \frac{L_{\mu}}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ U_{1\beta} = R_{\text{э}} \cdot T_{\text{э}p+1} \cdot I_{1\beta} - \frac{R_2' \cdot L_{\mu}}{L_2^2} \cdot \psi_{2\beta} - \frac{L_{\mu}}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ 0 = T_{2p+1} \cdot \psi_{2\alpha} - L_{\mu} \cdot I_{1\alpha} + \frac{L_2}{R_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ 0 = T_{2p+1} \cdot \psi_{2\beta} - L_{\mu} \cdot I_{1\beta} + \frac{L_2}{R_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ M_{\text{дв.эм}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_{\mu}}{L_2} \cdot z_p \cdot \psi_{2\alpha} \cdot I_{1\beta} - \psi_{2\beta} \cdot I_{1\alpha}; \\ \omega = \frac{1}{J_p} \cdot (M_{\text{дв.эм}} - M_c \cdot \text{sign}(\omega)) \end{array} \right.$$

На основании данной системы уравнений была составлена структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат α, β и реактивной нагрузкой приведена на рис. 5.1. Входными величинами на структурной схеме рис. 5.1 являются напряжения переменного тока – фазные напряжения статорных обмоток двухфазного АД:

$$U_{1\alpha} \left(\leftarrow \rightleftharpoons U_{1m} \cdot \cos \left[\leftarrow \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t \right] \right); \quad U_{1\beta} \left(\leftarrow \rightleftharpoons U_{1m} \cdot \sin \left[\leftarrow \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t \right] \right).$$

Параметры звеньев структурной схемы двигателя.

Эквивалентные индуктивности обмоток:

– статора

$$L_1 = L_{1\delta} + L_{\mu} = 6,1 \cdot 10^{-4} + 0,023 = 0,0236 \text{ Гн};$$

– ротора

$$L_2 = L_{2\delta} + L_{\mu} = 8,3 \cdot 10^{-4} + 0,023 = 0,0238 \text{ Гн}.$$

Коэффициент рассеяния

$$\sigma = 1 - \frac{L_{\mu}^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0,023^2}{0,0236 \cdot 0,0238} = 0,0586$$

Рисунок 5.1 - Структурная схема силового канала системы ПЧ-АД в неподвижной двухфазной системе координат α, β

Эквивалентное сопротивление

$$R_3 = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_1^2}{L_2^2} = 0,05 + 0,032 \cdot \frac{0,023^2}{0,0238^2} = 0,08 \text{ Ом}.$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_3 = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_3} = \frac{0,0586 \cdot 0,0236}{0,08} = 0,0173 \text{ с}; \quad T_2 = \frac{L_2}{R_2'} = \frac{0,0238}{0,032} = 0,744 \text{ с}.$$

В пакете Simulink системы Matlab на основе структурной схемы рисунка 5.1 разработана имитационная модель силового канала системы ПЧ-АД в неподвижной системе координат и приведена на рисунке 5.2 [9].

Рисунок 5.2 – Имитационная модель силового канала системы ПЧ-АД

Рисунок 5.3 – Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске и набросе нагрузки $M_{с.макс}=355,1 \text{ Нм}$

Переходные процессы скорости ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске и набросе нагрузки $M_{с.макс}=355,1$ Нм, полученные на этой модели приведены на рисунке 5.3. Как видно из рисунка прямой пуск сопровождается большими колебаниями электромагнитного момента АД, что приводит к колебаниям скорости.

Как видно из графика, при набросе нагрузки, равной номинальному моменту двигателя, частота вращения вала двигателя уменьшается с синхронной $\omega_0 = 157$ рад/с до $\omega_{дв.н} = 154,9$ рад/с, величина скольжения

$$s = \frac{\omega_0 - \omega_{дв.н}}{\omega_0} = \frac{157 - 154,9}{157} \cdot 100 = 1,4\%$$

соответствует номинальному значению (таблица 2.1).

5.1. Функциональная схема системы скалярного частотного управления

В простейшем случае частотно-регулируемый асинхронный электропривод со скалярным управлением реализуется по разомкнутой структуре.

Функциональная схема такого частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением, выполненная по разомкнутой структуре, приведена на рисунке 5.4. АД выполнен в виде двухфазной модели в неподвижной системе координат α, β [9]. На функциональной схеме символом * обозначены сигналы задания и управления и приняты следующие обозначения:

ω - фактическое значение угловой скорости вращения двигателя;

ЗИС - задатчик интенсивности скорости с линейной характеристикой;

ФНУ - формирователь напряжений управления двухфазным АД, который формирует два напряжения переменного тока U_α^* и U_β^* при применении

структурной схемы АД в неподвижной системе координат статора α, β ;

ФФН – формирователь фазных напряжений двухфазного двигателя.

Рисунок 5.4 - Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

В разомкнутой системе электропривода со скалярным управлением при уменьшении частоты максимальный момент двигателя уменьшается. Основная причина этого – возрастания влияния активного сопротивления обмотки статора при снижении частоты питающего напряжения. При законе регулирования $U_1 / f_1^2 = \text{const}$, как было показано выше, с целью обеспечения пускового момента на малых скоростях в преобразователе должна быть предусмотрена функция корректировки (повышение начального значения напряжения) вольт-частотной характеристики в области малых частот выходного напряжения инвертора. Либо, как показано в [9], можно применить так называемую IR - компенсацию (повышение фазного напряжения инвертора на величину падения напряжения на обмотке статора $I_l \cdot R_l$) в области малых частот.

Для ограничения момента и тока АД в пуско-тормозных режимах электропривода механизмов, у которых по технологии невозможны механические перегрузки (к таким механизмам можно отнести привод вентиляторов), достаточно применения задатчика интенсивности с линейной характеристикой, который устанавливается на входе электропривода в канале задания скорости.

В соответствии с функциональной схемой, представленной на рисунке 5.6, из библиотеки имитационных моделей систем ПЧ-АД, предложенных [10] в среде *Simulink* системы *MatLab* выбираем модель, показанную на рисунке 5.5. Имитационные модели входящих в нее блоков представлены на рисунках 5.6 -5.11.

Рисунок 5.5 - Имитационная модель разомкнутой системы ПЧ-АД со скалярным управлением

Рисунок 5.6 - Имитационная модель формирователя фазных напряжений статорных обмоток двухфазного двигателя в неподвижной системе координат α, β

Рисунок 5.7 - Имитационная модель АД в неподвижной системе координат α, β

Рисунок 5.8 – Имитационная модель одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера

Имитационная модель, представляющая вентиляторную нагрузку, согласно выражению (2.5)

Рисунок 5.9 – Имитационная модель вентиляторной нагрузки

Рисунок 5.10 – Имитационная модель задатчика интенсивности с линейной выходной характеристикой

На рисунке 5.11 представлена математически рассчитанная и аппроксимированная ломаными линиями кривая зависимости $U_1/f_1^2 = \text{const}$.

Рисунок 5.11 - Кривая зависимости $U_1(f_1)$

Кривая зависимости $U_1(f_1)$ аппроксимируется отрезками прямых представлена в таб.5.1, и набрана в нелинейном блоке *Lookup Table* в имитационной модели формирователя фазных напряжений.

Таблица 5.1- Параметры вольт-частотной характеристики преобразователя

$f_1, \text{Гц}$	5	22	50
$U_1, \text{В}$	6	50	220

Имитацию квантования по времени фазных напряжений на выходе автономного инвертора напряжения преобразователя частоты (рис. 5.9), происходящее в процессе его широтно-импульсной модуляции (ШИМ) производится с помощью стандартных блоков библиотеки *Simulink* : *Pulse Generator* и *Enabled Subsystem* [9].

Период квантования по времени напряжения инвертора ПЧ принимаем равным величине постоянной времени запаздывания при ШИМ

$$T_{\text{ин}} = \frac{1}{f_{\text{нч}}} = \frac{1}{10000} = 0,0001 \text{ с,}$$

где $f_{\text{нч}} = 10000 \text{ Гц}$ - несущая частота инвертора.

5.2. Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода вентилятора со скалярным управлением

Имитационные исследования электропривода вентилятора проводятся с целью проверки его работоспособности в следующих основных технологических режимах: пуск на любую рабочую скорость вентилятора; переход с одной рабочей скорости на другую и останов в режиме электрического торможения. В процессе имитационных исследований рассмотрим следующие режимы работы системы электропривод – вентилятор [9]:

- пуск электропривода на минимальную рабочую скорость;
- пуск электропривода с минимальной рабочей скорости на максимальную;
- торможение электропривода с максимальной скорости до минимальной;
- останов электропривода.

К электроприводу вентилятора не предъявляется жестких требований к динамическим показателям. Поэтому при выборе параметров настройки за-

датчика интенсивности скорости прежде всего следует исходить из условия обеспечения мягкого пуска электропривода. В ходе имитационных экспериментов установлено, что для обеспечения мягкого пуска вентилятора достаточно принять постоянную времени задатчика $T_{зи} = 5 \text{ с}$.

В качестве примера рассмотрена отработка электроприводом вентилятора следующего цикла:

- пуск на минимальную частоту $f_{и.мин} = 5 \text{ Гц}$
- переход на максимальную рабочую скорость вентилятора $f_{р.макс} = 50 \text{ Гц}$
- переход на минимальную частоту $f_{и.мин} = 5 \text{ Гц}$.
- останов электропривода.

Принимаем момент инерции вентилятора $J_{вен} = 3J_{ов} = 3 \cdot 0,2 = 0,6 \text{ кг м}^2$, тогда момент инерции электропривода $J_{э} = J_{ов} + J_{вен} = 0,2 + 0,6 = 0,8 \text{ кг м}^2$.

На рис. 5.15 приведены временные характеристики отработки электроприводом вентилятора с законом регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и настройкой вольт-частотной характеристики в соответствии с (таб.5.1) принятого цикла работы.

Рисунок 5.12 – Результаты имитационных исследований отработки электроприводом насоса заданного цикла при настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (таб.5.1): графики переходных процессов – скорости $\omega(t)$, момента $M(t)$, фазного тока двигателя $I_{1\phi}(t)$

Рисунок 5.13 – Результаты имитационных исследований отработки электроприводом вентилятора заданного цикла при настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (таб.5.1): графики переходных процессов – фазных токов двигателя $i_\alpha(t)$ и $i_\beta(t)$

Вывод. Полученные результаты имитационных исследований доказывают, что частотно-регулируемый асинхронный электропривод вентилятора под «вентиляторной» нагрузкой при скалярном управлении с законом управления $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и корректировкой вольт-частотной характеристики в соответствии с (4.3) обеспечивает пуск электропривода с начальной частоты $f_{\text{и. мин}} = 5$ Гц и требуемый диапазон регулирования скорости вентилятора. Переходные процессы в электроприводе протекают плавно с ограничением динамического момента, токов двигателя и преобразователя. Время пуска и электрического торможения электропривода определяется и может быть изменено путём выбора значения постоянной времени задатчика скорости

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе был выполнен обзор систем управления частотно-регулируемыми электроприводами. Проанализирован и выбран наиболее подходящий, по соотношению цена-качество, для рассмотренного технологического процесса закон регулирования – скалярное управление U/f^2 . Доказано, что данный вид управления позволяет получить искусственные механические характеристики с требуемой жесткостью, ему свойственна техническая простота измерения и регулирования абсолютных значений переменных АД.

В процессе работы установлено, что полученная модель в среде MATLAB Simulink поддерживает заданные параметры давления воздуха в сети, с требуемыми показателями качества и полностью удовлетворяет требованиям технического задания.

Составлена функциональная схема системы поддержания постоянного давления на основе преобразователя частоты фирмы Siemens серии Micromaster 420.

В разделе производственной и экологической безопасности проведен анализ вредных факторов, рассмотрена техника безопасности, производственная санитария, пожарная безопасность технологического процесса.

В организационно-экономической части выполнено планирование проектных работ, выполнены расчеты сметы затрат на проектирование работ, расчеты капитальных вложений на реализацию и расчеты расходов при эксплуатации данного электропривода. Выполнен расчет экономической эффективности показывающий реальное снижение затрат на эксплуатацию данного оборудования.

