

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Общая теория электромеханического преобразования энергии
(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Асинхронный электродвигатель для частотно регулируемого привода металлообрабатывающего оборудования»

Студент

П.С. Махнев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

В.В. Ермаков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Руководитель программы к.т.н., профессор В.В. Ермаков

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« » 2018 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« » 2018 г.

Тольятти 2018

Оглавление

Введение	4
1. Анализ работы бесцентрошлифовальных станков и систем электропривода ведущего круга	14
1.1 Обзор бесцентрошлифовальных станков, их назначение и конструкция.	14
1.2 Анализ технических характеристик бесцентрошлифовального автоматического станка.	20
1.3 Особенности частотного регулирования двигателей	25
1.4 Опции двигателей для частотного регулирования	27
1.5 Работа асинхронных двигателей с регулируемой частотой вращения	35
2. Выбор компонентов для системы вращения ведущего круга	41
2.1 Выбор асинхронного электродвигателя для системы вращения ведущего круга	41
2.2 Выбор серии преобразователя частоты	50
2.3 Преобразователи частоты серии Sinamics G120	53
2.4 Программное обеспечение преобразователей Sinamics	63
2.5 Способы управления и регулирования асинхронного двигателя	64
2.6 Выбор типа преобразователя для бесцентрошлифовального станка	66
2.7 Параметрирование преобразователя частоты и ввод параметров	67
2.8 Монтаж силовой части преобразователя на оборудовании	72
2.9 Монтаж управляющего модуля привода Sinamics G120	74
3. Узлы независимой вентиляции	77
3.1 Устройство узлов независимой вентиляции	77
3.2 Доработка узла независимой вентиляции	80
Заключение	87
Список используемых источников	88

Аннотация

На сегодняшний момент в ПАО «АВТОВАЗ» использует большой парк технологического оборудования, срок эксплуатации большей части этого парка оборудования превышает более 20 лет. В системах управления таким оборудованием используются устройства, которые в массе уже выработали свой ресурс и требуют замены.

Замена многих компонентов данных систем не возможна, так как они уже не выпускаются, или не отвечают современным техническим требованиям и не могут обеспечить повышающиеся требований к качеству обработки, как например, на шлифовальном оборудовании, которое напрямую определяет качество выпускаемых деталей, что означает, что от их нормального функционирования в целом определяет общее качество продукции.

В связи с этим было предложено проведение модернизации системы электропривода вращения ведущего круга бесцентрошлифовального станка с использованием преобразователя и стандартного асинхронного двигателя, который будет доработан в условиях ремонтной службы ПАО «АВТОВАЗ» под задачи частного регулирования, без закупки специализированного двигателя или его компонентов.

Введение

В последнее время у нас в стране начали проявляться тенденция к росту как в промышленности в целом, так и в машиностроении в частности. Это утверждение, в полной мере, можно отнести и к автомобилестроительной отрасли, которая является одной из сложных и наукоемких машиностроительных производств. От качества ее работы напрямую зависит состояние экономики как отдельных “моногородов” и регионов, в которых сосредоточены данные промышленные кластеры, так и всей страны в целом. Развитие мировых стандартов при производстве автомобилей, таких как экологические ЕВРО 5 и стандарты безопасности, требуют улучшения показателей качества продукции, выпускаемой предприятиями нашей промышленностью до мирового уровня.

Крупнейшим автомобилестроительным заводом в России является ПАО “АВТОВАЗ”, входящий в Альянс “АВТОВАЗ - РЕНО – НИССАН”. Основные производственные площадки ПАО “АВТОВАЗ” расположены в Тольятти и Ижевске. Выпускаемые Альянсом марки и машин пользуются стабильно спросом, даже на фоне общего падения продаж автомобилей. При этом сейчас у потребителя стабильным спросом пользуются как флагманские модели двигателями увеличенной мощности из новой линейки, так и машины в низком ценовом, оснащенные давно спроектированными и выпускаемыми двигателями. Технологическое оборудование, обрабатывающее детали для двигателей предыдущего поколения очень часто модернизируются и включаются в новые технологические проекты, с возможностью производства двух деталей одновременно. В основном все технологические цепочки по производству двигателей являются бездублированными. Производство основных комплектующих как для двигателей разработки АВТОВАЗа так и двигателей РЕНО локализовано на Тольяттинской промышленной площадке, на территории бывшего Механосборочного производства ПАО “АВТОВАЗ”.

Основными структурными подразделениями АВТОВАЗа, занятые в механической обработке, являются расположенные на Тольяттинской площадке следующие производства: Производство коробки передач, Производство двигателей и Производство шасси. На их площадях данных подразделений размещается более 12.000 металлообрабатывающих станков и другого сборочного и сварочного оборудования.

Срок эксплуатации большей части этого парка оборудования превышает более 20 лет, что означает, что на них используются элементы системы управления и исполнительные механизмы, которые в массе уже выработали свой ресурс и требуют замены. Замена многих компонентов данных систем не возможна, так как они уже не выпускаются, или не отвечают современным техническим требованиям.

В современных реалиях производства производственные машины и механизмы должны отличаться большой производительностью при необходимой точности обработки, высоким уровнем автоматизации, облегчающим обслуживание, а также иметь сравнительно невысокую первоначальную стоимость и небольшие эксплуатационные расходы, быть надежными и долговечными.

Ранее, в приводах вращения металлообрабатывающих станков широко применялись двигатели постоянного тока с питанием от системы импульсно фазового управления (СИФУ) или тиристорных преобразователей. Достоинством системы привода с двигателями постоянного тока являются плавность регулирования, относительная лёгкость управления скоростью и направлением вращения. Но при этих положительных моментах данные системы обладают и существенными недостатками: наличие щёточно-коллекторного узла, большой момент инерции ротора, наличие двух обмоток: статора и ротора, которые, как правило, требуют отдельных источников питания. А в случае выхода из строя двигателя и необходимости в его перемотке временные и ценовые затраты на это сопоставимы с 50% стоимости нового двигателя.

До 90 годов основной причиной, по которой привод переменного тока не находил широкого применения, являлась сложность регулирования частоты вращения. В настоящее время существует богатый выбор разнообразных силовых полупроводниковых приборов, что позволяет строить любые схемы для управления электродвигателями.

Современный электропривод является одним из основных звеньев автоматизации всех отраслей производства, и уровень его развития определяет возможность решения задач, связанных как с повышением производительности работы оборудования, точности позиционирования.[1]

Широкое применение быстродействующих систем электропривода привело к изменению и упрощению конструкций станков и механизмов, дало возможность повысить точность и плавность регулирования числа оборотов, чего нельзя было добиться с помощью гидро и пневмоприводов. Также стоит отметить, что для функционирования пневмо и гидропривода требуется установка отдельных дополнительных устройств, обеспечивающих подачу и подготовку рабочей среды для данного вида привода.

В современных реалиях электропривод постоянного тока стал использоваться в основном только в достаточно специфичных и мощных механизмах. А большинство электроприводных систем с ДПТ стали заменяться на электропривод с асинхронным электродвигателем и синхронными бесколлекторными машинами (серводвигателями), так как такие двигатели практически не имеют ограничений по максимальной скорости вращения и мощности, так как в исполнительных устройствах (двигателях), применяемых в данных системах отсутствуют вращающиеся механические устройства осуществляющие токосьем.

Основное направление применения частотно-регулируемого электропривода (ЧРЭП) это замена электропривода с двигателями постоянного тока. В металлообрабатывающей промышленности это в основном оси подач на шлифовальных, токарных и фрезерных станках и всевозможные варианты привода главного движения. Но свои окончательные

геометрические размеры деталь обычно получают после обработки их на шлифовальных станках различных типов.

На сегодняшний момент в ПАО «АВТОВАЗ» использует большой парк технологического оборудования, часть которого в силу морального и износа и повышения требований к качеству обработки требует изменения систем управления. Одной из основных групп станков, работа которых напрямую определяет качество выпускаемых деталей являются шлифовальные станки. Шлифовальные станки в основном проводят финишную обработку детали, что означает что от их нормальное функционирование в целом определяет общее качество продукции на выходе. Существует значительное количество разных видов шлифовальных станков, в общем можно разделить по виду обработки: 1) внутренняя шлифовка 2) внешняя шлифовка 3) плоская шлифовка 4) бесцентровая шлифовка [9]. Производительность данных типов станков в основном зависит от профиля обрабатываемой детали, чистоты обработки, материала заготовки и т.д. Внешний вид станков с различными вариантами шлифовального оборудования представлен на рисунке 1.



а)

б)

в)

Рисунок 1 - Внешний вид шлифовальных станков

а) Плоскошлифовальный станок б) Круглошлифовальный станок в)
Бесцентрошлифовальный станок”

Обычно для первого и второго типа шлифования характерно обработка единичного изделия, которое часто характеризуется достаточно большим временем обработки. Для третьего и четвертого вариантов обработки часто характерна поточная обработка деталей с достаточно большой производительностью часто выполняемая “на проход” 2-3 станками. Это означает, что итоговое качество детали будет напрямую зависеть от того, как качественно настроены все станки, задействованные в финишной обработке. А итоговое время операции будет зависеть от времени работы самого медленного станка [9]. В случае нарушения чистоты шлифовки в основном детали возможно перешлифовать на последнем станке в цепочке, что частично избавляет от брака, но увеличивает время обработки и повышает затраты при их производстве. Так как данный вид шлифовки достаточно производительный, а выходной контроль при больших объемах возможен только или выборочный или же достаточно редкий, то подобные потери в качестве и времени на доработку значительно влияют как на качество, так и на стоимость узлов и агрегатов в целом. Чаще всего такие станки делают финишную обработку небольших деталей округлой формы, потребность в которых достаточно высока: седла, штока, втулки, толкатели и т.д.

А так как каждое обособленное подразделение (ПД, ПШ, ПКП) вынуждено учитывать подобные потери в себестоимости продукции, то проблема выпуска качественной и массовой продукции является достаточно актуальной.

Например, для бесцентрошлифовальных станков одной из причин возникновения дефектов в обработке является неравномерность вращения ведущего круга, что приводит к разной чистоте обработке одной и той же детали в разных местах, что приводит к ее повторной шлифовке уже вне потока. Одной из основных причин неравномерного вращения ведущего круга у таких станков является система регулирования оборотов ведущего круга.

Для проведения модернизации системы регулирования вращения ведущего круга было предложено использовать асинхронный

электродвигатель с управлением от преобразователя частоты, так как за последние 20 лет преобразователи частоты получили широкое распространение, имеют достаточно хорошие показатели регулирования, надежны и недороги.

Электропривод представляет собой электромеханическое устройство, предназначенное для приведения в движение рабочего органа машины и управления её технологическим процессом. Он, в общем, состоит из четырёх частей: электрического двигателя, осуществляющего электромеханическое преобразование энергии, передаточного устройства, передающего механическую энергию рабочему органу оборудования, преобразователя и системы управления, обеспечивающей оптимальные режимы управления технологическим процессом.

Производство преобразователей частоты, предназначенных для управления асинхронными электродвигателями, на данный момент освоено многими компаниями, как за рубежом, так и в России. Они выполнены с использованием современных прогрессивных технологий в области цифровой электроники и обладают большим функционалом.

Однако вопрос массового применения таких преобразователей для большинства управляемых и прецизионных осей оборудования отчасти обусловлен отсутствием самого исполнительного механизма для частотного электропривода, то есть специализированного асинхронного электродвигателя.

Обычный серийный асинхронный электродвигатель общепромышленного назначения не всегда может удовлетворить условиям работы оборудования в режиме частотного управления, так как не обладает датчиками положения (энкодерами), встроенными термодатчиками, быстродействующими (усиленными) рабочими тормозами, принудительной вентиляцией и т.д.

Для создания таких двигателей часто требуется изменение конструктивной основы базового электродвигателя с необходимостью максимально

унифицировать применяемые запасные части и элементы конструкции от серийных электродвигателей. Это требует конструкторских разработок и экспериментальных исследований.

Например, на данное время у нас в стране предприятиями группы компаний ВЭМЗ и НИИПТИ и ELDIN на базе стандартных серий двигателей изготавливаются электродвигатели специальных конструктивных исполнений предназначенные в качестве приводов подач и приводов главного движения металлорежущих станков. В основном это станки нормального класса точности, которые подверглись модернизации.

Точность станков, в зависимости от применяемых датчиков обратной связи и состояния механической части, составила от ± 1 до ± 5 мкм “по электронике” и от 0.003 до 0.20 мм по обработке.

Но подобного рода электродвигатели, несмотря на то, что они выпускаются мелкосерийно все равно остаются практически штучным товаром, изготавливаемым для каждого заказчика отдельно. Это напрямую влияет на время их поставки потребителю и их стоимость, которая может отличаться в зависимости от опций двигателя более чем на 200% по сравнению с таким же серийным двигателем.

Также стоит отметить, при модернизации промышленного оборудования для доработки стандартных асинхронных двигателей при использовании их совместно с частотными преобразователями отдельные производители, как в России, так и за рубежом выпускают дополнительные опции для асинхронных двигателей: такие как установочные комплекты для крепления к двигателям датчиков положения (энкодеров), как внутри кожуха, так и снаружи, комплекты для изменения типа и системы вентиляции двигателей, что в основном необходимо при наличии датчика положения (энкодера), навесные рабочие и стояночные тормоза. Все это отчасти дает возможность самостоятельного оснащения требуемого двигателя опциями необходимыми для превращения его в АДЧР двигатель. Они в основном делаются также с применением стандартизованных деталей от серийных

двигателей. Но с учетом дороговизны данных опций применение их в условиях больших предприятий, где система закупки в основном достаточно инертны и растянуты по времени и в основном ориентированы на покупку уже применяемой массовой номенклатуры, используемой в ремонтных подразделениях. А заказ подобного рода опций для двигателей в единичных количествах или крайне небольшими партиями в основном экономически не оправдан и растягивается на очень длительный срок, не менее чем 6-8 месяцев.

На ПАО “АВТОВАЗ” имеются достаточно большой оборотный фонд электрических двигателей всех типов (более 15000 единиц), из которых более 70% это стандартные асинхронные двигатели, российского и импортного производства.

Для ремонта данных двигателей в ремонтных подразделениях функционируют бригады централизованного ремонта, которые выполняют все виды ремонта двигателей и их составляющих кроме перемотки, которая функционально возложена на Энергетическое производство. В данных бригадах имеет достаточно большой фонд запасных частей как новых, и от различных списанных двигателей, который позволяет восстанавливать практически любые двигатели.

В связи с этим было предложено рассмотреть возможность самостоятельно в условиях бригады централизованного ремонта доработать конструкцию стандартного асинхронного электродвигателя с целью получения двигателя для работы с преобразователем частоты, т.е. АДЧР двигателя для модернизации системы вращения ведущего круга бесцентрошлифовального станка ф. “Lidkoping”.

Целью диссертационной работы является уменьшение затрат на модернизацию системы вращения ведущего круга бесцентрошлифовального станка путем доработки серийного асинхронного двигателя под задачи частотного регулирования.

Поставлены и решены следующие задачи:

- 1) по существующей нагрузочной характеристике и тахограмме рассчитана мощность электродвигателя для новой системы электропривода;
- 2) разработана система управления на базе частотного преобразователя для бесцентрошлифовального металлообрабатывающего оборудования.
- 3) произведен выбор осевого вентилятора с целью внедрения узла независимой вентиляции для двигателя.

Методика исследований. Решение поставленных задач осуществлено с помощью программного пакета Mathcad 14, схема разработана в пакете Splan.

Практическая значимость работы заключается адаптации серийного асинхронного двигателя под задачи частотного управления в системе вращения ведущего круга металлообрабатывающего оборудования в условиях производства.

Структура и объем работы.

Магистерская диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы из 40 наименований.

Основное содержание работы изложено на 91 странице, содержит 47 рисунков и 3 таблицы. Основные тезисы, изложенные в работе, опубликованы в следующих статьях:

- 1) Махнев П.С. Анализ технических устройств бесцентрошлифовального автоматического станка. // Сборник статей Международной научно-практической конференции “Физико-математические и технические науки как постиндустриальный фундамент эволюции информационного общества”, Самара, 25 марта 2018, С.67-70.
- 2) Махнев П.С. Работа асинхронных двигателей с регулируемой частотой вращения. // Сборник статей Международной научно-практической конференции “Методы проектирования и оптимизации технологических процессов”, Новосибирск, 11 марта 2018, С. 22-25.

- 3) Махнев П.С. Выбор асинхронного электродвигателя для бесцентрошлифовального станка // Сборник статей Международной научно-практической конференции “Методы проектирования и оптимизации технологических процессов”, Самара, 25 марта 2018, С .63-67

1. Анализ работы бесцентрошлифовальных станков и систем электропривода ведущего круга

1.1 Обзор бесцентрошлифовальных станков, их назначение и конструкция.

При бесцентровом шлифовании основной особенностью процесса шлифования на бесцентровых станках является наличие в них двух кругов, один из которых является ведущим, а второй шлифовальным и отсутствие фиксации обрабатываемой заготовки в каком-либо зажимном устройстве. Важно отметить, что в таких станках ось вращения заготовки, располагается немного выше оси кругов.

Каждый из кругов двигается с разной скоростью и вращение у данных кругов разнонаправленное, таким образом, вращение обрабатываемой заготовке сообщается при помощи одного круга (ведущего), а сама обработка выполняется за счет шлифовального круга, который вращается со скоростью в до 100 раз быстрее ведущего круга. Все это позволяет удерживать деталь в момент шлифовки в станке и не давать ей вылететь наружу.

Сцепление детали с поверхностью ведущего круга обеспечивается из-за того что, сила резания, создаваемая при таком виде шлифовки, возрастает при уменьшении скорости вращения абразивного круга [9,10]. Схема бесцентровой шлифовки представлена на рисунке 2.

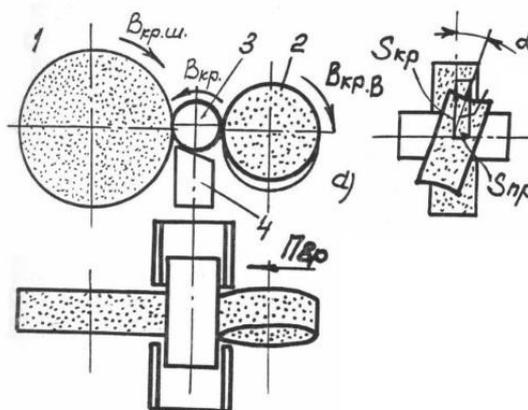


Рисунок 2 - Схема бесцентрового шлифования: 1) – шлифовальный круг 2) ведущий круг 3) обрабатываемая заготовка 4) опорный нож

Бесцентровое шлифование выполняется двумя вариантами: 1) с продольной 2) с поперечной подачей заготовки, по-другому называемое врезным.

При первом варианте обрабатывают изделия, у которых диаметр шлифуемой поверхности не изменяется по всей длине. Второй вариант применяют когда выполняют обработку заготовок, на поверхности которых имеются углубления или выступающие части, а также для заготовок ступенчатой формы.

При бесцентровой шлифовке, с продольной подачей, деталь не только вращается, но также и перемещается вдоль направления шлифования. Данное перемещение возможно потому, что ось вращения ведущего круга не параллельно, а установлена под углом по отношению к оси вращения шлифовального круга и чем больше этот угол, тем больше скорость прохода (перемещения) заготовки через станок.

Выбор угла наклона, с которым установлен ведущий круг, напрямую зависит от диаметра и длины обрабатываемых заготовок. Также на него оказывает влияние требуемая чистота обработки заготовок.

Так например, при шлифовании достаточно коротких заготовок значение такого угла колеблется в диапазоне 1–2,5 градуса, а длинных 1,2–3,5 градуса, для заготовок небольшого диаметра он равен 3–4,5 градуса. Также надо учитывать, что при выполнении чистового шлифования величину этого наклона требуется уменьшить на 20–25% [9].

Выполнение шлифования детали с продольным перемещением заготовки обычно происходит в несколько проходов. Величина припуска, который снимается за каждый проход, зависит от вида технологической обработки и материала детали. Например, при черновом шлифовании, обычно за один проход снимают не более 0,1–0,15 мм, а при чистовой шлифовке 0,01–0,03 мм. Соответственно. При этом число чистовых проходов может быть равно двум.

Качество шлифования напрямую зависит от системы регулирования и поддержания частоты вращения ведущего круга.

В качестве привода для системы регулирования вращения ведущего круга обычно используется:

- 1) гидропривод (рисунок 3);
- 2) электропривод с ДПТ (рисунок 4);
- 3) комбинированный электропривод (ДПТ+АД) (рисунок 5);
- 4) Электропривод с вентильным двигателем (рисунок 6).

Второй и четвертый типы системы регулирования оборотов является более широко применяемым на данный момент на действующем оборудовании.



Рисунок 3 - Система вращения ведущего круга с гидроприводом.

Бесцентрошлифовальный станок состоит из следующих основных узлов: станины, приводов вращения шлифовального и ведущего кругов, винтовой пары, механизмов алмазной правки кругов, механизма подналадки

(компенсации), ограждения, подающего конвейера, гидростанции и смазочной системы, электрооборудования, системы охлаждения, пневмопривода.[5]

Станина бесцентрошлифовального автомата представляет собой литую конструкцию коробчатой формы с накладными закаленными направляющими. В станине предусмотрены окна для смыва стружки и стока СОЖ (смазывающе-охлаждающей жидкости).



Рисунок 4 - Система вращения ведущего круга электроприводом с двигателем постоянного тока.

Сверху на станину крепятся и перемещаются по направляющим с помощью винтовой пары привода вращения шлифовального и ведущего кругов.[6] Шлифовальный круг приводится в движение нерегулируемым двигателем переменного тока. А весь диапазон скорости вращения ведущего круга в свою очередь обеспечивается регулируемым двигателем постоянного тока.

Механизмы алмазной правки кругов находятся над каждым из кругов и предназначены для их правки. Механизм компенсации находится на станине и служит для автоматического перемещения кругов на величину правки.

Ограждения предназначены для защиты обслуживающего персонала от брызг СОЖ, стружки и движущихся частей бесцентрошлифовального станка, а для обслуживания станка часть ограждений выполнено сдвигающейся. Также, как правило, в состав станка входят приспособления для балансировки кругов после их замены.

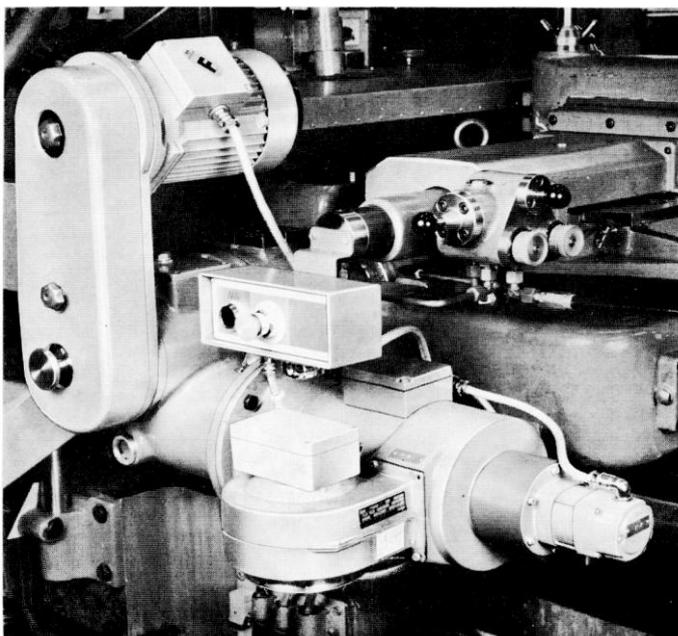


Рисунок 5 - Комбинированная система электропривода ведущего круга (Д.П.Т. + А.Д.).

Управление бесцентрошлифовальным автоматом осуществляется с центрального пульта управления (ЦПУ), который монтируется в выносном электрошкафу. Бесцентрошлифовальные станки чаще всего устанавливают по 2 штуки друг за другом, так и они работают по принципу одновременной обработки потока деталей, так называемый вариант “на проход”.

Управление бесцентрошлифовальными станками осуществляется с центрального пульта управления (ЦПУ), который монтируется в выносном электрошкафу.



Рисунок 6 - Система электропривода ведущего круга с серводвигателем.

В автоматическом режиме обработки детали включаются приводы вращения шлифовального и ведущего кругов (круги имеют разнонаправленное вращение) и между ними, по конвейеру, потоком подаются детали. Пройдя по ленточному конвейеру всю длину кругов, деталь после шлифовки попадает в накопитель для готовых деталей.

С периодичностью в 2000 деталей включается работа правильного устройства шлифовального круга, после правки производится компенсация круга на величину алмазной правки, правка ведущего круга производится через 5000 деталей, после правок заново включается обработка заготовок.

Обработка ведется с централизованной подачей СОЖ для смазки и охлаждения инструмента и для смыва стружки в технический канал.

Скоростные и точностные характеристики уже работающих станков, изготавливающих одновременно как детали для двигателей предыдущих поколений, так и новых значительно ниже, что критично влияет на общую производительность всей технологической цепочки. Особенно это явно проявляется на бездублирных технологических потоках, загрузка которых уже максимальна.

К такому оборудованию относят бесцентрошлифовальные автоматические станки ф. “Lidkoping” (Швеция), которые обрабатывают гидротолкатель клапана для 16 клапанных двигателей производства ПАО “АВТОВАЗ”, устанавливаемые на все автомобили ‘LADA”.

В связи с увеличением производственного задания, за счет увеличения производства “Веста” данное оборудование перешло на 3х сменный режим работы и простой данного технологического оборудования может привести к простоям сборочного конвейера, что недопустимо при поточном производстве.

В связи с этим возникла необходимость проведения модернизации системы управления вращением ведущего круга на данных станках, как наиболее часто подверженной отказам и напрямую влияющей на качество производимой продукции.

1.2 Анализ технических характеристик бесцентрошлифовального автоматического станка.

Бесцентрошлифовальный станок ф. “Lidkoping” (Швеция) предназначен для обработки гидротолкателей клапанов для 16 клапанных двигателей автомобилей Vesta, Xray, Largus, Granta.

Станок выполняет следующую операцию: шлифовка диаметра в 3 прохода. Материал обрабатываемой детали – Сталь 12 ХН. Вид климатического исполнения станка по DIN 66217. Условия эксплуатации по ГОСТ 9.303-84.

Автоматический режим управления обеспечивает такую работу, при котором все механизмы станка работают в замкнутой последовательности, соответствующей программе. Пуск или останов станка осуществляется с ЦПУ. Наладочный режим обеспечивает отдельную работу каждого механизма станка. Все блокировки, обеспечивающие безаварийность бесцентрошлифовального станка, сохраняют своё действие в автоматическом и наладочном режимах.

Таблица 1- Технические характеристики бесцентрошлифовального автомата ф. “Lidköping” (Швеция)

Наименование технических характеристик	Значения
2.1 Производительность шт./час.....	1000
2.2 Диаметр обрабатываемой детали, мм.....	28
2.3 Длина обрабатываемой детали, мм.....	35,4
2.4 Количество рабочих позиций, шт.....	1
2.5 Загрузка в станок и выгрузка.....	автоматическая
2.6 Диаметр шлифовального круга (мин. - макс.), мм...	600/480
2.7 Диаметр ведущего круга (мин. - макс.), мм...	350/270
2.8 Мощность двигателя постоянного тока ведущего круга в режиме работы, кВт.....	3,5
Мощность двигателя ведущего круга в режиме правки, кВт.....	1,5
2.9 Мощность привода шлифовального круга, кВт...	45
2.10 Суммарная мощность потребителей, кВт....	70
2.11 Род электрического тока.....	переменный
2.12 Частота тока, Гц.....	50
2.13 Напряжение сети, В.....	380
2.14 Напряжение цепей управления, В.....	110; 24
2.15 Габаритные размеры, мм (длина x ширина)	3200x1500
2.16 Скорость подачи шлифовального устройства мм/мин	2.5
2.17 Масса, кг	15000

Станок состоит из чугунной станины, с металлическими направляющими, на которых расположены шлифовальные бабки со шпиндельными узлами, с установленными на них двигателями и кругами, а также механизмами подачи и шлифовальными устройствами для кругов, к

оборудованию подключены гидросистема и система централизованной смазки направляющих и шпиндельных узлов.[16]

Внешний вид станка ф. “Lidkoping” представлен на рисунке 7.

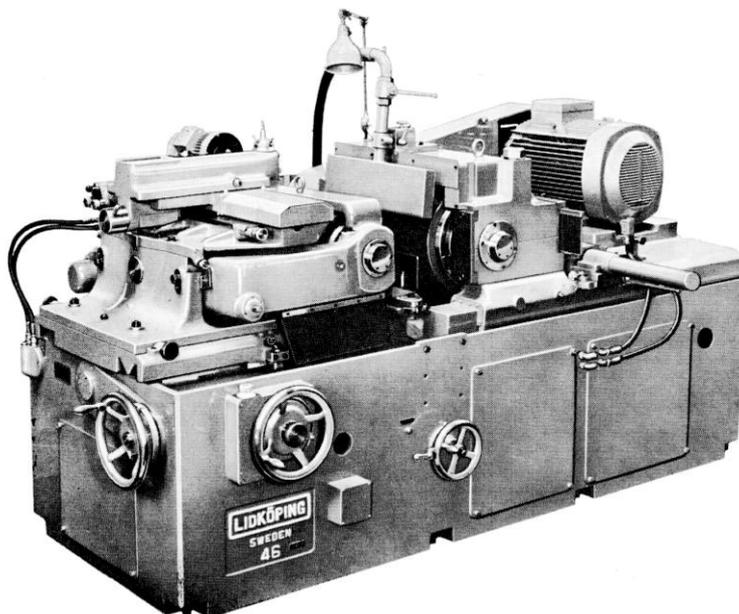


Рисунок 7 - Внешний вид станка ф. “Lidkoping”(Швеция)

Система управления станком предназначена для управления механизмами станка в автоматическом и ручном режимах. В состав системы управления входят:

- центральный пульт управления;
- электрооборудование установленное на борту;
- шкафы управления;
- система электропривод постоянного тока
- прибор активного контроля размера ф. ”MARPOSS”.

Система управления позволяет бесцентрошлифовальному станку осуществлять диагностику ряда неисправностей. О наличии неисправностей на станке оповещает сигнальный фонарь, установленный на ЦПУ.

ЦПУ предназначен для централизованного управления бесцентрошлифовального станка, индицируя состояния оборудования и его неисправности.

В шкафах управления находится пускорегулирующая аппаратура, программируемый контроллер, система электропривода и элементы системы контроля размеров.

Устройство бесцентрошлифовального станка ф. “Lidköping” для шлифовки гидротолкателей клапанов представлено на рисунках 8 и рисунке 9.

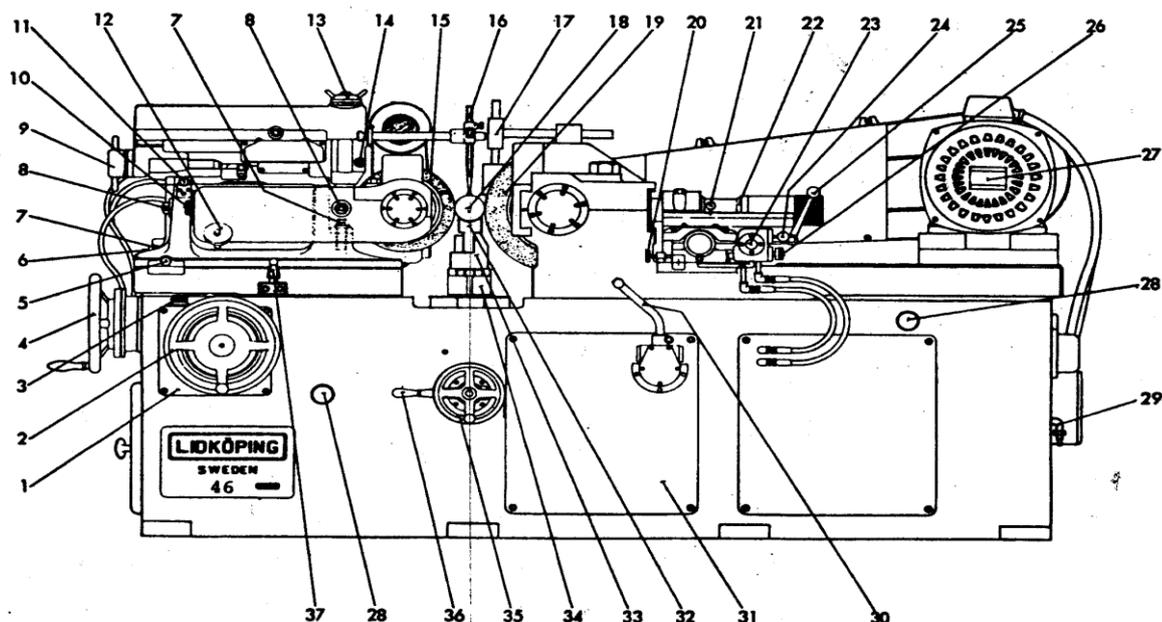


Рисунок 8 - Устройство бесцентрошлифовального станка (вид слева)

На рисунке 8 показаны следующие устройства, входящие в состав станка: 1. Шкала микроподачи 2. Рулевое колесо (штурвал) для микроподачи 3. Ручка регулировки градиента для горизонтальной плоскости микрометра 4. Рулевое колесо 5. Винт регулирования рубашки регулятора 6. Указатель нулевого уровня 7. Рычаг блокировки поворота регулировки нулевого уровня 8. Стопорная гайка регулировки 9. Градиентное кольцо для регулировки диска управления 10. Номограмма масштаба наклона регулятора уровня 11. Винт для регулировки угла поворота ползуна 12. Винт регулировки винта регулировочной губки 13. Градиентное кольцо для регулировки высоты 14. Стопорный винт 15. Регулировочная пластина 16. Рукоять измерения регулировки высоты заготовки 17. Кран подачи охлаждающей жидкости 18. Заготовка 19. Шлифовальный круг 20. Винт регулировки угла поворота руля

і 21. Рычаг блокировки рулевой колонки в обратном режиме 22. Алмазная гребенка устройства правки 23. Клапан обратной подачи правильного устройства 24. Крепление правильного устройства 25. Рычаг для возврата правильного устройства 26. Регулятор скорости подачи алмазной гребенки 27. Двигатель шлифовального круга 28. Крепление шлангов подвода сжатого воздуха 29. Штуцер для подвода воздуха 30. Рычаг для перемотки проскальзывания 31. Лючок для обслуживания 32. Опорный нож 33. Крепление опорного ножа 34. Система регулировки высоты опорного ножа 35. Колесо регулировки высоты опорного ножа 36. Рычаг блокировки регулятора высоты опорного ножа 37. Блокиратор защитных ограждений станка 38. Ревизионный лючок шкива шлифовального круга.

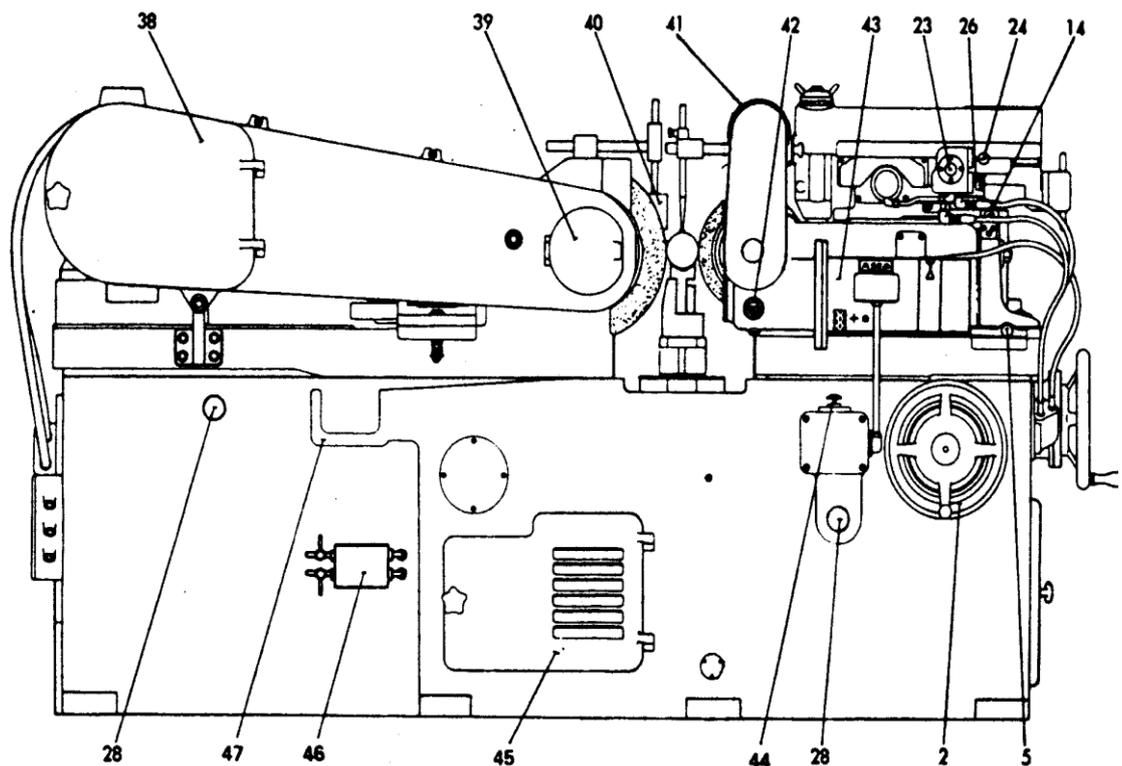


Рисунок 9 - Устройство бесцентрошлифовального станка (вид справа)

На рисунке 9 указаны следующие элементы бесцентрошлифовального станка: 39. Шпиндель ведущего круга 40. Сопло подачи охлаждающей жидкости 41. Двигатель правки 42. Указатель уровня масла в редукторе

привода ведущего круга 43. Двигатель ведущего круга с тахогенератором 44. Включение микроподачи 45. Ревизионный лючок системы смазки 46. Гидропанель с распределителями 47. Лоток слива охлаждающей жидкости

1.3 Особенности частотного регулирования асинхронных двигателей

Основным направлением для использования в промышленном оборудовании частотно-регулируемого электропривода (ЧРЭП) это модернизация приводов с двигателями постоянного тока. В автомобильной промышленности и машиностроении это в основном оборудование 80-90 годов прошлого века, как российского производства, так и импортного. Также еще одним немаловажным аспектом при применении частотно-регулируемого привода является возможность энергосбережения. Более 70% машин и механизмов в мире в качестве двигателей используют асинхронные двигатели. Эти двигатели в свою очередь потребляют более 40% от общего количества электроэнергии, производимой на планете. Поэтому наиболее верным будет использование частотно-регулируемого электропривода на базе преобразователей частоты и специализированных трехфазных АД в энерго и ресурс сберегающих системах. Например, в приводных системах с вентиляторной нагрузкой, к которым можно отнести центробежные насосы и вентиляторы, потребление электроэнергии напрямую зависит от скорости вращения. Максимального эффекта, для такого рода систем, можно достичь при изменении частоты вращения электродвигателя посредством частотного регулирования. Так коэффициент полезного действия насоса и двигателя при изменении расхода практически не изменяется, но зато снижается производительность самого насоса при сохранении необходимого напора, поэтому и понижается потребление электрической энергии. То есть использование преобразователей частоты дает возможность не только максимально оптимизировать работу АД но также значительно повысить их ресурс и сэкономить энергоноситель [22]. Также стоит отметить и еще один

аспект применения таких приводных систем как, общее повышение надежности оборудования и возможность автоматизации и управления параметрами оборудования и технологического процесса.

Изготовление АДЧР на базе серийно производимых двигателей позволяет улучшить их технические и экономические показатели по сравнению со стандартными серийными электродвигателями. Например, для крановых двигателей возможно применение материала с более высокой удельной электрической проводимостью для производства короткозамкнутой обмотки, также возможно изменение самой обмотки статора двигателя.

При необходимости АДЧР может быть оборудован независимой вентиляцией, что позволяет не только улучшить его энергохарактеристики, но и сделать более широким предел рабочих скоростей.

Каждый специализированный АДЧР проектируются с учетом законов управления, с которым будет работать сам частотный преобразователь, его диапазоном рабочих частот, видами нагрузки и других специфичными факторами для данной области применения частотного привода [28].

Эти двигатели, по сравнению с АДЧР имеющих в своей основе начинку от серийных двигателей обычно отличаются иной геометрией пазов, что приводит к созданию новой технологической оснастки для их производства, а соответственно значительно повышает их цену.

Узкоспециализированные АДЧР обычно создаются под определенные преобразователи и для конкретного производителя. Они могут оснащаться дополнительными устройствами и системами такими как: встроенной защитой обмоток от перегрева, независимой вентиляцией, энкодерами (датчиками обратной связи). Создание и использование специализированных АДЧР должно быть оправдано с экономической точки зрения, например при их массовом применении для определенных групп оборудования. В противном случае при единичных модернизациях определенных станков и механизмов целесообразно создание АДЧР, основой для которого будет линейка стандартных (серийно выпускаемых) двигателей [27].

Обеспечить все выше сказанное может специальный асинхронный двигатель для частотного регулирования с дополнительными опциями, необходимыми для определенных условий эксплуатации приводных систем, установленных на оборудовании. Для использования асинхронных двигателей в качестве машин для частотного регулирования обычно на них устанавливают множество дополнительных опций. [20]

1.4 Опции двигателей для частотного регулирования

К опциям, которыми оснащаются двигатели для частотного регулирования, относятся такие устройства как энкодер (датчик скорости/положения).

Энкодер позволяет более точно регулировать скорость вращения и момент на валу. Энкодеры могут быть установлены, как снаружи на кожухе двигателей, так и внутри под ним. Тип энкодера по виду сигнала будет напрямую зависеть от того какая система управления будет использована.

Двигатели поставляются с инкрементальными датчиками как энкодерами так и резольверами (вращающимися трансформаторами), основными производителями таких датчиков обратной связи являются отечественный СКБ ИС (торговая марка “ЛИР”, из импортных Delta (Тайвань), ф. Siemens, ф. Heidenhain (Германия) и другие.

Энкодеры подбирают по техническому заданию заказчика и обычно разрешающая способность у подобных датчиков составляет от 1000 - 20000 импульсов на один оборот.

Энкодеры бывают как механическими, так и оптическими и это тип является на данный момент наиболее распространенным. Такие датчики могут крепиться как внутри корпуса двигателя, так и снаружи.

Типы сигнала и питающее напряжение для таких датчиков обратной связи может быть различными: TTL (5 В); HTL (10-30) В; sin/cos, 1Vpp, быть инкрементальными и абсолютными, которые не требуют настройки и

юстировки после демонтажа их с двигателями. В последнее время все чаще энкодеры получают функцию связи с системой по различным промышленным сетям [28].

При необходимости, возможно предусмотреть монтаж на двигателе энкодеров различных производителей, что повышает универсальность системы. Примеры двигателей, с установленными на них энкодерами, представлены на рисунке 10.



а)



б)

Рисунок 10 – Асинхронные двигатели с энкодерами а) энкодер ф. ЛИР

б) энкодер ф. Siemens

К другим дополнительным опциям относят установку внутри обмотки двигателя термодатчиков, термореле, терморезисторов различных типов, которые позволяют защитить двигатель от перегрева. Сигналы с таких датчиков обычно заводятся в цепь управления приводом или в систему ЧПУ и имеют два уровня, которые в зависимости от температуры двигателя.

Первый пороговый уровень температуры позволяет дать предупреждающее сообщение о перегреве, а второй уровень при превышении температуры до максимально возможного уровня активирует аварийный останов или включение дополнительного охлаждения двигателя.

Термодатчики для асинхронных электродвигателей бывают следующих типов: 1) РТС термисторы (РТС100 и другие от 90 до 180 градусов Цельсия) 2) биметаллические 3) термосопротивления (Pt100). Внешний вид таких датчиков представлен на рисунке 11.

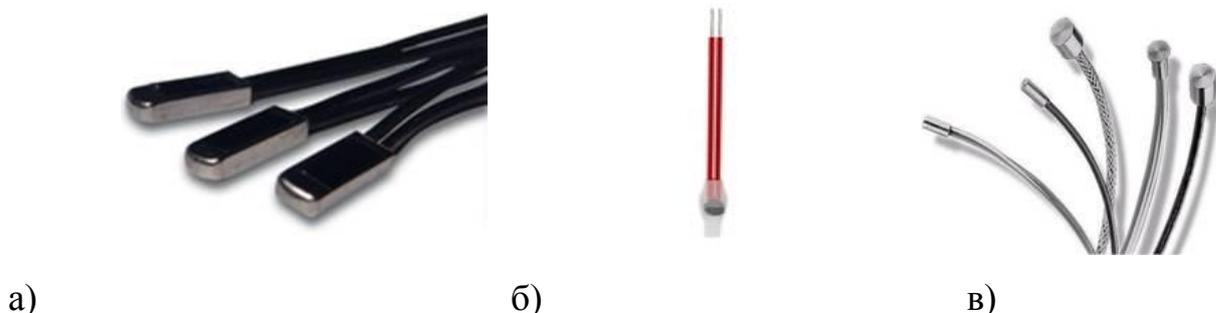


Рисунок 11 - а) Биметаллический элемент б) РТС-термистор в) Термосопротивление Pt100

Термистором называется полупроводниковый резистор, сопротивление которого определенным образом зависит от температуры. Термисторы бывают двух типов: РТС – с положительным коэффициентом температуры и NTC – с отрицательным коэффициентом температурным.

Для защиты электродвигателей в основном применяются РТС-термисторы, их сопротивление мгновенно возрастает при достижении допустимой температуры. У РТС (Англ. - positive temperature coefficient) термисторов сопротивление возрастает при достижении критической температуры.

Биметаллические датчики представляют собой мембрану с изгибом, на которой непосредственно закреплен подвижный контакт. При нагреве мембраны до предельной температуры соответственно изменяется направление ее выгиба, соответственно разрывая контрольную цепь.

Термосопротивление - это датчик для измерения температуры, его сопротивление напрямую зависит от температуры внешней среды. Самым распространенным типом таких датчиков являются платиновые термометры.

Термосопротивление позволяет непосредственно контролировать температуру какого-либо определенного элемента электродвигателя, например, отдельно обмотки статора или подшипникового узла.

Термодатчики могут устанавливаться как в обмотку статора, так и на подшипниковые щиты (для больших габаритов электродвигателей) а иногда и на активное железо.

При монтаже в обмотке термодатчики чаще всего устанавливают в обмотку статора, при этом их конструктивно монтируют на лобовых частях обмоток [27]. В случае установки более 1 термодатчика их монтируют на каждую фазу и соответственно соединяют последовательно, схема соединения термодатчиков для этого случая показана на рисунке 12.

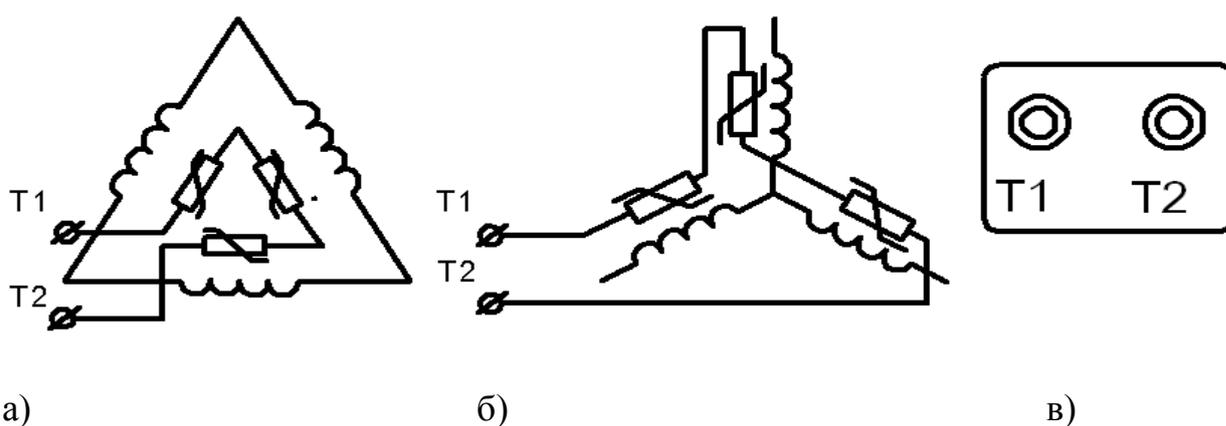


Рисунок 12 - Схема подключения датчиков температуры обмотки статора
а) схема соединения треугольник б) схема соединения звезда в) маркировка колодки подключения датчика

Также не маловажной опцией для двигателей, предназначенных для частотного регулирования, является наличие электромагнитного тормоза: как рабочего, так и стояночного с разными вариантами его подключения и растормаживания.

Тормоза выпускаются на разные варианты напряжений, с разными схемами подключения и расторможения. Также существуют варианты и с

ручным динамическим тормозом, который позволяет изменять тормозной момент в ходе работы двигателя[18]

Электромагнитные тормоза может подключаться как в цепь постоянного, так и переменного тока. Для цепей постоянного тока тормоз подключается на следующие напряжения: напряжением 24 В, 190В, 205В, а для переменного в однофазную цепь напряжением 380 В (50 Гц) через однополупериодный выпрямитель или 220 В (50 Гц) через двухполупериодный выпрямитель [22].

Опционально тормоза могут оснащаться ручкой принудительного растормаживания и конечным выключателем контроля срабатывания. Ручное растормаживание такого тормоза позволяет произвести растормаживание вала принудительно вручную с помощью рукояти, которая расположена на двигателе. Для контроля срабатывания на тормозе может устанавливаться датчик контроля тормоза.[19]

Срабатывание контактов этого датчика позволяет контролировать реальное состояние датчика тормоза, включен он или выключен. Данные датчики могут быть как контактными, так и бесконтактными. Микропереключатель предназначен для контроля срабатывания тормоза, а также защиты от механических повреждений в случае, когда двигатель начинает вращение раньше, как сработал тормоз.[8]

Еще одной опцией для тормозных узлов является антиконденсатный подогреватель. Он представляет из себя параллельный, саморегулируемый нагревающийся кабель и рассчитан на питание от промышленной сети переменного тока 220В. Антиконденсатный подогрев тормозного диска служит для предотвращения образования конденсата на фрикционных поверхностях тормоза в условиях воздействия температур ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, в моменты длительного останова оборудования. В эти моменты антиконденсатный подогреватель подключается к сети для прогрева поверхности фрикционных накладок.

Внешний вид тормоза с системой принудительного расторможения и конечного выключателя тормоза для таких двигателей представлен на рисунке 13.



Рисунок 13 – Электродвигатель оснащенный тормозом с функцией принудительного ручного растормаживания

По принципу действия тормоза бывают следующих видов: статический (стояночный) тормоз – он обеспечивает удержание остановленного двигателя. Для таких тормозов допускается остановка двигателя с рабочей скорости только в случае аварийной остановки и фиксации рабочего механизма. Динамические же тормоза предназначены, как для удержания вала двигателя, при отключении питания, так и для остановки двигателя тормозом с рабочей скорости в рабочем цикле. Внешний вид и устройство электромагнитного тормоза представлено на рисунке 14.

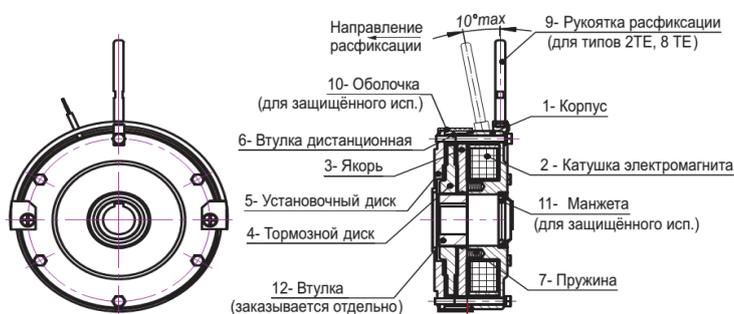


Рисунок 14 – Устройство стояночного электромагнитного тормоза

Также на двигатели для частотного регулирования опционально устанавливаются токоизолированный подшипник, для снижения вероятности повреждения подшипников вследствие прохождения токов через вал и подшипники, а в двигателях мощностью выше 30 кВт ($h \geq 180$ мм и выше), для увеличения срока службы подшипников рекомендуется использовать преобразователь частоты с фильтром du/dt .

Также в качестве опции, применяемой на двигателях для систем с частотным регулированием, является узел независимой вентиляции. Независимый вентилятор повышает эффективность охлаждения, исключает перегрев двигателя во всем диапазоне его рабочих скоростей.

У двигателей для ЧПР возможно несколько вариантов исполнения такой вентиляции. Если преобразователь частоты уменьшает скорость работы двигателя в 2 раза и более, то соответственно и встроенная крыльчатка двигателя также замедляется, охлаждение двигателя ухудшается и может перегреваться. Независимая вентиляция поддерживает постоянные обороты и охлаждает двигатель при снижении скорости вращения двигателя [23].

Также перегрев возможен в случае, если двигатель работает в тяжелых температурных условиях (более $+30\text{C}^0$).

Двигатель же с применением независимой вентиляции охлаждается и при высокой температуре окружающей среды и в случае тяжелых режимов эксплуатации с тяжелыми режимами с частыми пусками, остановками, реверсами.

При этом независимая вентиляция также равномерно охлаждает двигатель даже при его остановке, эффективно снижая его температуру.

Двигатели с такой системой вентиляции используются в составе частотно-регулируемого привода при продолжительной работе во всех диапазонах рабочих скоростей, их применяют в приводе конвейерных систем, центрифуг, обрабатывающих центрах и автоматических линиях. Внешний вид таких двигателей представлен на рисунках 15 и 16.



Рисунок 15 - Электродвигатель АДЧР модификации со встроенным вентилятором

Такого рода двигатели изготавливаются практически во всех габаритных размерах электродвигателей. Но также необходимо помнить, что при отсутствии датчика скорости/положения максимальная величина регулирования с преобразователем частоты может составлять 1:10...15, при использовании специальных типов инверторов до 1:20...40. Питание таких вентиляторов осуществляется от отдельного силового кабеля, питание вентиляторов в зависимости от его размеров бывает или однофазным (220 V AC) трехфазным (380 V AC).



Рисунок 16 - Электродвигатель АДЧР с вентилятором типа “наездник”

1.5 Работа асинхронных двигателей с регулируемой частотой вращения

При работе от сети мы имеем синусоидальную форму кривых напряжения и тока. При работе от ПЧ эти кривые уже не имеют синусоидальный вид, что влияет на характеристики двигателя и изменяет их. Эти изменения надо учитывать при выборе привода и двигателя.

В асинхронных двигателях, применяемых в системах АДЧР, в основном используют следующие варианты охлаждения и вентиляции:

- 1) IS 411 закрытая машина с внутренней самовентиляцией и обдувом наружной поверхности вентилятором, установленным на валу двигателя;
- 2) IS 416 закрытая машина с внутренней самовентиляцией и обдувом наружной поверхности электровентилятором, установленным на двигателе; питание электровентилятора осуществляется от сети однофазного переменного тока/ трехфазного переменного тока/ с приводом от отдельного трехфазного асинхронного двигателя, пристроенного на обдуваемом двигателе.

При работе асинхронных двигателей в составе частотно-регулируемого привода различают две зоны регулирования (первую и во вторую зоны):

Первая зона регулирования – это диапазон частоты вращения ниже номинальной (для двигателей АДЧР – соответствующей частоте питающего напряжения 50 или 60 Гц), она характеризуется номинальным значением магнитного потока двигателя.

Вторая же зона регулирования – это зона с диапазоном частоты вращения выше номинальной с сохранением мощности. Она характеризуется снижением магнитного потока с увеличением частоты питающего напряжения. На рисунке 17 представлено примерное семейство механических характеристик асинхронного электродвигателя (АД), работающего с частотно-регулируемым преобразователем, с указанием перегрузочной способности, а также условным разделением на первую и

вторую зоны. Двигатель обеспечивают работу в первой и второй зонах регулирования с сохранением мощности [22].

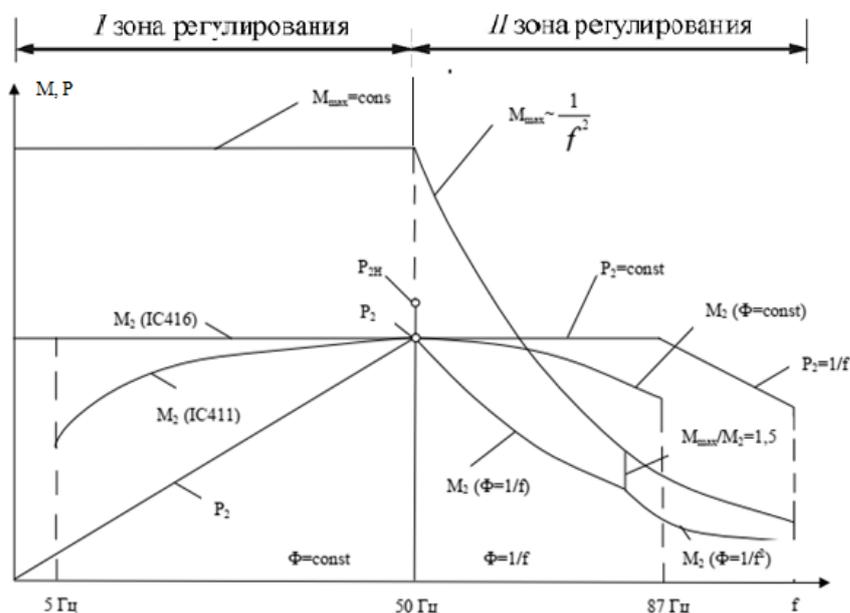


Рисунок 17 - Примерное семейство механических характеристик АД, работающего от частотно-регулируемым преобразователем

В диапазоне частот от 0 до 50 Гц (1 зона) при работе с постоянным потоком ($\Phi = \text{const}$) максимальный момент постоянен. Поэтому в этой зоне можно работать со следующими характеристиками нагрузки на валу двигателя: для способа охлаждения IC416 с независимым узлом вентиляции за счет сохранения потока охлаждающего воздуха с постоянным моментом нагрузки $M_{\text{нагр}} = \text{const}$ (кривая момента M_2 (IC416)). При этом постоянный поток воздуха обеспечивает требуемое рассеивание тепловых потерь при практически номинальных значениях тока в обмотке статора, либо надо выбирать двигатель большего габарита с запасом по мощности.

Для способа охлаждения IC411 с собственным вентилятором за счет снижения потока охлаждающего воздуха при уменьшение оборотов моментная характеристика нагрузки уменьшается (кривая момента M_2 (IC411)) из условия сохранения перегрева обмотки статора. В этом случае

момент нагрузки пропорционален частоте вращения (для вентиляторов и центробежных насосов)

$$M_{нагр} = M_{ном} \cdot \left(\frac{n}{n_{НОМ}}\right)^2 \quad (1.1)$$

где $M_{нагр}$ – момент нагрузки на валу

$n_{НОМ}$ – номинальные обороты двигателя

n – рабочие обороты двигателя

Для привода механизмов с такой нагрузочной характеристикой используются двигатели со способом охлаждения IC0411 (самовентиляция) – снижение расхода охлаждающего воздуха компенсируется снижением нагрузочного момента и следовательно, тока двигателя

Одним из критериев выбора двигателя, режима работы и способа охлаждения для него служит условие сохранения допустимого нагрева обмотки статора, значение которого в свою очередь определяется классом нагревостойкости изоляции обмотки.

Кривая мощности на валу двигателя P_2 в диапазоне 0-50 Гц уменьшается прямо пропорционально уменьшению оборотов двигателя по формуле

$$P_2 = \frac{(n_2 \cdot M_2)}{9550} \quad (1.2)$$

где P_2 – номинальная мощность на валу двигателя при работе от ПЧ при 50Гц.

n_2 - номинальные обороты двигателя при 50 Гц

M_2 – номинальный момент при 50 Гц

Точка $P_{2Н}$ на рисунке 17 это номинальная мощность на валу двигателя при работе от сети при 50Гц. За счёт питания привода от преобразователя частоты, по сравнению с синусоидальным питанием, в двигателе возникают дополнительные потери, обусловленные наличием высших гармоник влияющие на увеличение перегрева обмоток.[2] Поэтому величина номинальной мощности двигателя, работающего от преобразователя

частоты, может быть ниже регламентируемой мощности при работе от сети. В диапазоне частот выше 50 Гц возможны два варианта работы двигателя от преобразователя частоты. При первом варианте с ослаблением потока с постоянной мощностью нагрузки на валу двигателя (кривая $P_2 = \text{const}$) момент нагрузки уменьшается обратно пропорционально увеличению оборотов (кривая момента ($M_2(\Phi=1/f)$) по формуле 1.3.

$$M_2 = \frac{P_2}{9550 \cdot n_2} \quad (1.3)$$

Максимальный момент двигателя уменьшается обратно пропорционально увеличению частоты в квадрате. Поэтому в режиме ослабления магнитного потока двигатель может работать с постоянной мощностью до тех пор, пока выдерживаться перегрузочная способность двигателя $M_{\text{max}} / M_2 = 1,5$. После этого необходимо чтобы момент нагрузки снижался пропорционально снижению максимального момента (кривая момента $M_2 (\Phi=1/f_2)$).

Допускается работа двигателя с постоянной мощностью и перегрузочной способностью меньше 1,5 до 1,1, но при этом существует вероятность опрокидывания из-за различных факторов (кратковременные скачки нагрузки, провалы питающего напряжения и т.д.). Вторым вариантом с сохранением магнитного потока, он подходит для двигателей, изготовленных на схему соединения обмотки Δ/Y например 220/380В, где возможна работа с сохранением магнитного потока до частоты 87 Гц при условии переключения обмотки на Δ при линейном напряжении сети 380В. При этом при увеличении частоты выше 50 Гц момент нагрузки снижается (кривая момента $M_2 (\Phi = \text{const})$). На рисунке 18 представлена работа двигателя со способом охлаждения IC416 для механизмов с постоянным моментом нагрузки не зависящим от оборотов.

Работа двигателя при диапазоне регулирования выше 50 Гц представлена выше на рисунке 17. Двигатели со способом охлаждения IC411 рекомендуется использовать до частоты 60 Гц. При частотах выше 60 Гц

увеличивается уровень шума и механические потери. При частотах выше 60гц рекомендуется использовать двигатели со способом охлаждения IC416.

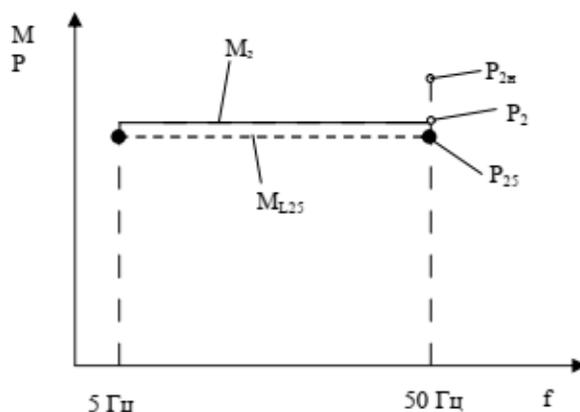


Рисунок 18 – Механические характеристики двигателя со способом охлаждения IC416 для механизмов с постоянным моментом нагрузки

Двигатели со стандартной балансировкой допустимая степень вибрации «А» по МЭК 60034 – 14 рекомендуется использовать до частоты 60гц. При частотах выше 60гц требуется более точная балансировка степень вибрации «В». Для увеличения максимального (опрокидывающего) момента двигателя в диапазоне выше 50гц с целью увеличения глубины регулирования требуется заказ специального двигателя. На рисунке 18 изображены следующие величины: P_{2H} – номинальная мощность двигателя при работе от сети, P_2 – мощность двигателя при работе от ПЧ с частотой 50гц в диапазоне регулирования 1:10 для IC416, M_2 – допустимый постоянный момент нагрузки двигателя в диапазоне регулирования 1:10 для IC416, M_{L25} – постоянный момент нагрузки приводного механизма в диапазоне регулирования 1:10 для IC416.

Не зависимо от диапазона регулирования двигатель выбирается с регламентированным моментом нагрузки M_2 и мощностью P_2 равными или превышающими момент нагрузки M_{L25} и мощность P_{25} приводного механизма.

2 Выбор компонентов для системы вращения ведущего круга

2.1 Выбор асинхронного электродвигателя для системы вращения ведущего круга.

Под электроприводом подразумевается симбиоз силового преобразователя частоты, электромеханического преобразователя энергии (двигателя), а также устройств управления. Электропривод отвечает за преобразование энергии из электрической в механическую, по заданному алгоритму работы оборудования. Основным условием для приводного двигателя для рабочего механизма является обеспечение им требуемой производительности и надежности при определенных параметрах экономичности. Данное требование осуществимо в случае адекватного выбора двигателя.

Основные параметры, по которым происходит выбор двигателя это 1) род тока; 2) частота вращения; 3) мощность; 4) характер нагрузки и ее численное значение; 5) условия окружающей среды в месте установки двигателя.

В целом мощностные характеристики двигателя и алгоритм системы управления являются определяющими для производительности рабочего механизма, а усовершенствование электропривода ведёт к повышению экономической составляющей технологического процесса.

Рассматриваемый нами электропривод, представляет собой регулируемый редукторный электропривод с двигателем постоянного тока и привода для его управления, который вращает ведущий круг на рабочей скорости и асинхронный электропривод значительно меньшей мощности и нерегулируемыми оборотами, который вращает ведущий круг в момент его правки. Подключение двигателей к механике ведущего круга происходит за счет ручного механического переключения скорости на редукторе ведущего круга. Проектирование электропривода ведётся на основании входных

данных, в котором отображены особенности технологического процесса: характер изменения статического момента, предел регулирования.

Одной из задач диссертационной работы является выбор нового асинхронного двигателя для работы на бесцентрошлифовальной станке для работы при нормальных условиях эксплуатации (высота до 1000 м, температура окружающей среды до 40С⁰), который будет обеспечивать вращение ведущего круга как в режиме работы, так и в режиме правки.

Диапазон регулирования оборотов двигателя от N_{\min} = от 1800 до N_{\max} = 3000 об/мин. Момент сопротивления механизма $M_{\text{нагр}} = 180$ Нм. Источник питания – ШИМ –преобразователь частоты на 380 В 50 Гц.

При подборе и расчете двигателя необходимо исходя из нагрузочной диаграммы и тахограммы рабочего механизма выбрать подходящий по мощности двигатель и проверить его на нагрев.

Рабочий механизм приводится в движение двигателем через редуктор с передаточным числом 40 и КПД 0,8. Механизм работает в различных фазах цикла (t_1, t_2) с общей длительностью $t_{\text{ц}}$, развивает на валу моменты $M_{\text{р.м1}}$, $M_{\text{р.м2}}$ для выполнения соответствующей технологической операции, продолжительность пуска и торможения не превышает величин $t_{\text{п}}$ и $t_{\text{т}}$ соответственно.

Необходимо выбрать электродвигатель и разработать систему электропривода с ним при питании от частотного преобразователя.

Исходные данные для расчета:

Момент рабочего механизма и время действия соответствующего момента:

$$M_{\text{р.м1}} = 190 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad t_1 = 6,5 \text{ с}$$

$$M_{\text{р.м2}} = 45 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad t_2 = 1,5 \text{ с}$$

Общее время цикла

$$t_{\text{ц}} = 8 \text{ с.}$$

Номинальная частота вращения рабочего механизма

$$n_{\text{р.м.ном}} = 60 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Коэффициент полезного действия редуктора

$$\eta = 0.8$$

Коэффициент передачи редуктора

$$i = 40$$

Требуемое время пуска

$$t_{II} = 3 \text{ с.}$$

Выбор двигателя - это ответственный этап проектирования электроприводной системы. Одно из основных требований к двигателю - это надёжность его работы при минимальных капитальных затратах и эксплуатационных расходах. Требование может быть удовлетворено только при выборе двигателя соответствующей мощности. Применение двигателя завышенной мощности приводит к увеличению капитальных затрат и КПД. Применение двигателя заниженной мощности может привести к снижению производительности рабочей машины, возникновению аварий и сокращению гарантированного срока службы двигателя из-за повышенного его нагрева.

Нагрузочная диаграмма и тахограмма рабочего механизма используются в качестве исходных данных для построения соответствующих диаграмм электродвигателя. Данные диаграммы для бесцентрошлифовального станка представлены на рисунках 19 и 20 соответственно.

Моменты рабочего механизма ведущего круга в момент обработки $M_{p.m1} = 190 \text{ Н} \cdot \text{м}$, и в момент свободного вращения без детали $M_{p.m2} = 45 \text{ Н} \cdot \text{м}$, а время действия соответствующих моментов $t_1 = 6,5 \text{ с.}$, $t_2 = 1,5 \text{ с}$ в случае обработки единичной детали при не поточной обработке.

Требуемое время запуска двигателя не менее 3 секунд, по контролю запуска двигателя в системе управления станка, а время торможения его в случае снятия напряжения 1,5 секунды по нормам безопасности.[13]

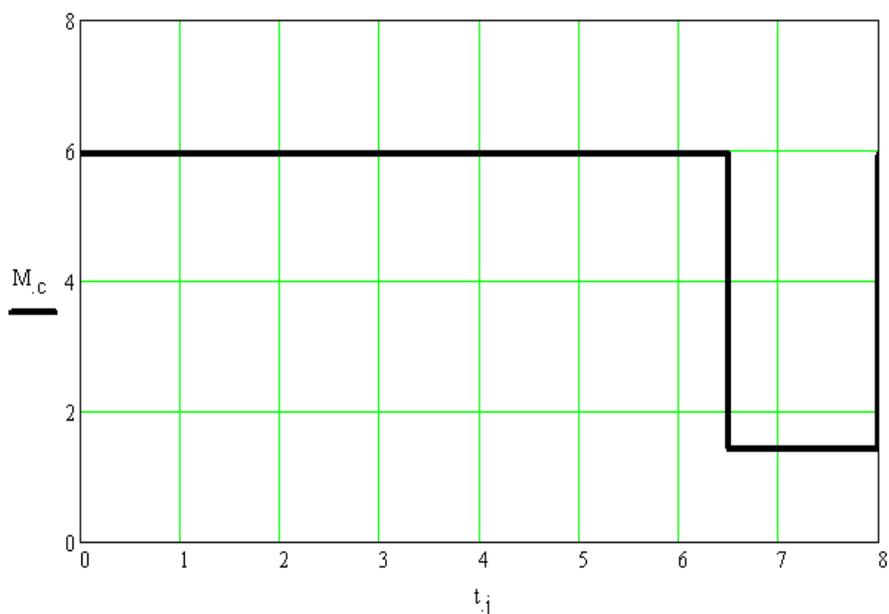


Рисунок 19 - Нагрузочная диаграмма рабочего механизма бесцентрошлифовального станка

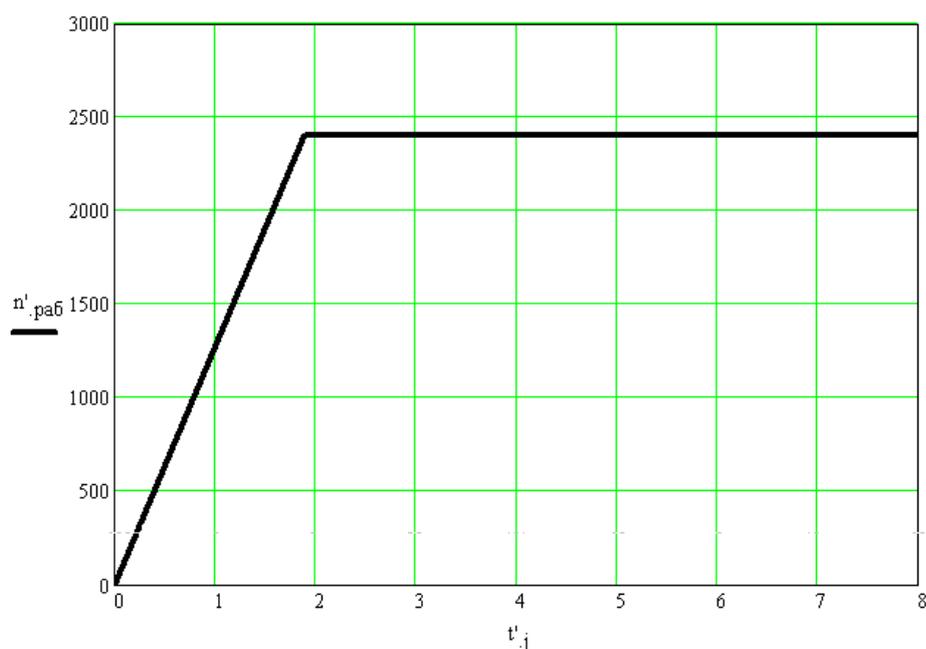


Рисунок 20 - Тахограмма рабочего механизма бесцентрошлифовального станка

При этом моменты $M_{р.м1}$, $M_{р.м2}$ нагрузочной диаграммы рабочего механизма пересчитываются в моменты $M_{с1}$, $M_{с2}$ статической нагрузки электродвигателя (рис.1) с учётом КПД η и передаточного числа i редуктора по формуле приведения момента рабочего механизма к валу двигателя:

$$M_c = \frac{M_{p.m}}{i \cdot \eta} \quad (2.1.)$$

$$M_{c1} = \frac{190}{40 \cdot 0.8} = 5.9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Аналогично $M_{c2} = \frac{45}{40 \cdot 0.8} = 1.41 \text{ Н} \cdot \text{м}$

где:

$M_{p.m1}$ - момент рабочего механизма и время действия соответствующего момента,

η - коэффициент полезного действия редуктора

i - коэффициент передачи редуктора

Тахограмма двигателя (рисунок 20), строится по значению рабочей скорости. На тахограмме отмечены в увеличенном виде продолжительности пуска и торможения, которые ограничиваются заданием. При разгоне двигатель должен развивать момент M_1 , который превышает величину M_{c1} на величину динамического момента, для сообщения требуемого ускорения механической части электропривода. При торможении двигатель должен, в общем случае, развивать соответствующий отрицательный момент M_2 . Определение величин моментов M_1 M_2 можно произвести после выбора двигателя при известной величине приведённого момента инерции механической части электропривода.[11]

$$n_{\text{раб}} = n_{p.m.ном} \cdot i = 60 \cdot 40 = 2400 \text{ об/мин} \quad (2.2)$$

где:

$n_{\text{раб.ном}}$ – номинальные обороты рабочего органа

i - коэффициент передачи редуктора

Для предварительного выбора двигателя по его нагрузочной диаграмме находят средний момент статической нагрузки.[12]

$$M_{c.c.p} = \frac{\sum_{i=1}^n (M_{ci} \cdot t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{M_{c1} \cdot t_1 + M_{c2} \cdot t_2}{t_{\text{ц}}} \quad (2.3)$$

При расчёте по данной формуле пренебрегаем кратковременными действиями моментов M_1 и M_2 во время переходных процессов.

$$M_{c.c.p.} = \frac{\sum(M_{ci} \cdot t_i)}{t_{ц}} = \frac{5.9 \cdot 6.5 + 1.41 \cdot 1.5}{8} = 5.1 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.4)$$

где:

M_{ci} – момент статической нагрузки

t_i – длительность интервалов воздействия момента

$t_{ц}$ – время цикла

Минимальный номинальный момент искомого двигателя определяем по формуле:

$$M_{мин.ном.} = 1.1 \cdot M_{c.c.p.} = 1.1 \cdot 5.1 = 5.6 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.5)$$

Максимальный номинальный момент искомого двигателя определяем по формуле:

$$M_{макс.ном.} = 1.3 \cdot M_{c.c.p.} = 1.3 \cdot 5.1 = 6.62 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.6)$$

Для выбора двигателя известны требуемые величины моментов $M_{мин}$ и $M_{макс}$ и скорость вращения $n_{раб} = 2400$ об/мин.

Выбираем отечественный асинхронный двигатель серии RA 100L2B производства Ярославского электромашиностроительного завода (ЗАО “ELDIN”), оснащенного термодатчиком, присоединительные размеры которого соответствуют стандартам DIN (CELENEC), так как станок импортного производства [28]. Номинальные данные двигателя для режима S1 и $f = 50$ Гц приведены ниже:

Напряжение питания двигателя $U_{ном} = 380 \text{ В}$

Частота вращения $n_{ном} = 2925$ об/мин

Мощность двигателя $P_{ном} = 3 \text{ кВт}$

Номинальный момент двигателя $M_{ном} = 8,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$

КПД двигателя $\eta = 0,82$

Момент инерции ротора

$GD = 0.009 \text{ кгс} \cdot \text{м}^2$

Номинальный ток двигателя

$$I_{ном} = 6.4 \text{ А}$$

Коэффициент мощности двигателя

$$\cos \varphi = 0,86$$

Для режимов частотного регулирования ($f \leq 50$ Гц) данные для этого двигателя по номинальному моменту и току будут отличаться в меньшую сторону, они приведены в [28].

Предварительный выбор двигателя позволяет определить в нагрузочной диаграмме величину максимального момента (в данном случае M_1 и проверить перегрузочную способность двигателя.

Определение максимального момента сводится к решению уравнения движения привода:

$$M_1 = M_{c1} + J_{\Sigma} \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (2.7)$$

Минимальное ускорение ε при пуске двигателя в соответствии с тахограммой рассчитывается следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{раб}}{60} \cdot \frac{1}{t_{II}} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 2400}{60} \cdot \frac{1}{3} = 155.7 \text{ с}^{-2} \quad (2.8)$$

Очевидно, что эта же величина характеризует отрицательное ускорение при торможении, вследствие чего можно определить требуемый тормозной момент M_2 двигателя, а именно: $M_2 = M_{c4} - J_{\Sigma} \cdot \left| \frac{d\omega}{dt} \right|$

Суммарный момент инерции J_{Σ} состоит из момента инерции двигателя J и приведённого к валу двигателя момента инерции рабочего механизма $J_{р.м.прив}$. Момент инерции двигателя J ($\text{кг} \cdot \text{м}^2$) определяется по маховому моменту GD ($\text{кг} \cdot \text{м}^2$) приводимому в паспортных данных:

$$J = \frac{GD}{4} = \frac{0.009}{4} = 0.0022 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \quad (2.9)$$

где:

J – момент инерции

Момент инерции механизма, приведённый к валу двигателя, зависит от махового момента механизма $GD_{p.m.}$ и передаточного числа редуктора i :

$$J_{p.m.прив} = \frac{J_{p.m.}}{i^2} = \frac{GD_{p.m.}}{4 \cdot i^2} \quad (2.9)$$

где:

$GD_{p.m.}$ маховый момент рабочего механизма при использовании понижающего редуктора, $GD_{p.m. неприв} = (0,5 \dots 10) \cdot GD$

Задавая $GD_{p.m. неприв} = 2 \cdot GD$ получаем:

$$J_{p.m.прив} = \frac{2 \cdot GD}{4 \cdot i^2} = \frac{2 \cdot 0,0022}{4 \cdot 40^2} = 2,83 \cdot 10^{-6} \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)} \quad (2.10)$$

Суммарный маховый момент:

$$J_{\Sigma} = J + J_{p.m.прив} = 0,0022 + 2,83 \cdot 10^{-6} = 2,25 \cdot 10^{-3} \quad (2.11)$$

Таким образом динамический момент пуска:

$$M_1 = M_{c1} + J_{\Sigma} \cdot \varepsilon = 5,9 + (2,53 \cdot 10^{-3} \cdot 155,6) = 6,45 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.12)$$

Проверка двигателя по перегрузочной способности сводится к проверке условия $M_{\max} \leq M_{доп}$, где $M_{\max} = M_1$, а следовательно $M_{\max} = 6,45 \text{ Н} \cdot \text{м}$

$M_{доп}$ - допустимый по перегрузке момент двигателя.

Для определения величины $M_{доп}$ используем приведённую в паспортных данных двигателя допустимую кратность максимального (критического) момента, так как:

$$\frac{M_{доп}}{M_{ном}} = \frac{M_{критич}}{M_{ном}} = 2,7 \quad (2.12)$$

Здесь использовано выражение момента $M_{доп}$ через кратность пускового, момента машины, для асинхронного электродвигателя необходимо учитывать возможное снижение напряжения питания

$$M_{доп} = 0,8 \cdot 2,7 \cdot M_{критич} = 0,8 \cdot 2,7 \cdot 6,45 = 21,8 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.13)$$

где:

$M_{критич}$ при этом равен максимальному моменту $M_{\max} = 6,45 \text{ Н} \cdot \text{м}$

$M_{дон} \leq M_{критич}$, что означает что выбранный двигатель имеет запас по перегрузочной способности, т.е. разгон его можно осуществлять при соответствующих управляющих воздействиях за следующий интервал времени:

$$\omega_{раб} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{раб}}{60} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 2825}{60} = 295.8 \text{ с}^{-1} \quad (2.14)$$

$$t_{II} = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_{раб}}{M_{дон} - M_{c1}} = \frac{2.25 \cdot 10^{-3} \cdot 295.8}{10.1 - 5.9} = 0.4 \text{ с} \quad (2.15)$$

Находим минимальные значения момента двигателя при торможении:

$$M_2 = M_{c2} - J_{\Sigma} \cdot \varepsilon = 1.41 - (2.25 \cdot 10^{-3} \cdot 157) = 1.1 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.16)$$

Полученное значение $M_2 = 1,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$ свидетельствует о том, что торможение двигателя произойдёт за $t_T = 0,5 \text{ с}$., даже если он будет развивать такой двигательный момент. При отключении двигателя, в результате срабатывания токовой защиты он затормозит под действием момента нагрузки M_{c2} за время $t_T < 0.5 \text{ с}$., а именно:

$$t_t = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_{раб}}{M_{c2}} = \frac{2.25 \cdot 10^{-3} \cdot 295.8}{1.41} = 0.47 \text{ с}. \quad (2.17)$$

Нагрузочная диаграмма подобранного асинхронного двигателя представлена на рисунке 21.

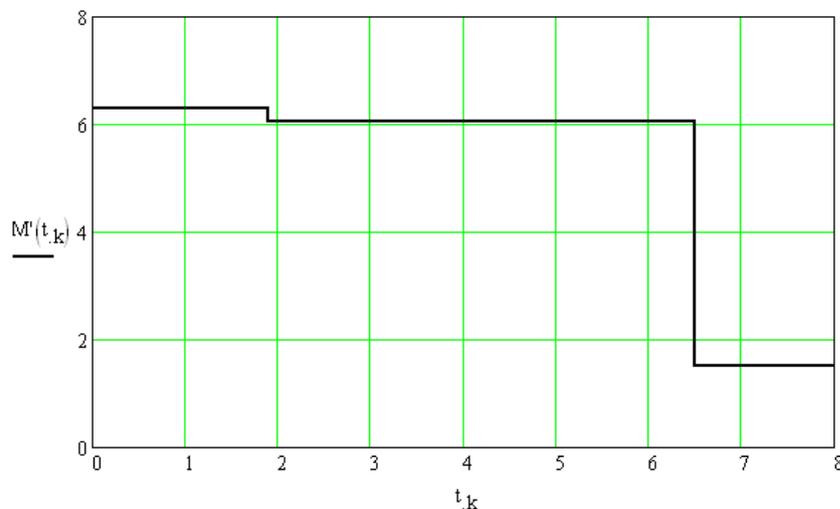


Рисунок 21 - Нагрузочная диаграмма двигателя

Проверка двигателя по нагреву, представляющая собой оценку фактической температуры изоляции обмоток двигателя и сравнение её с допустимой осуществляется, косвенным путём по нагрузочной диаграмме электродвигателя.

Так как предполагается неизменность магнитного потока двигателя в течение всего цикла работы, то целесообразно пользоваться методами эквивалентных величин, и в частности методом эквивалентного момента.

Эквивалентный момент для ступенчатой нагрузочной диаграммы вычисляется по формуле:

$$M_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{M_{c1}^2 \cdot t_1 + M_{c2}^2 \cdot t_2}{t_{\text{ц}}}} = \sqrt{\frac{5.9^2 \cdot 6.5 + 1.41^2 \cdot 1.5}{8}} = 6.36 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad (2.18)$$

Величина $M_{\text{ЭКВ}}$ практически сопоставима с номинальным моментом так как: $M_{\text{ЭКВ}} < M_{\text{НОМ}} = 6.4 \text{ Н} \cdot \text{м}$ в соответствии с [28], для условия, что двигатель будет работать в диапазоне регулирования 1:2.5 (20 Гц-50 Гц), что будет соответствовать требованиям допустимого нагрева. То есть, выбранный двигатель обеспечивает требуемые параметры рабочего механизма и удовлетворяет условиям по перегрузочной способности, но находится на границе условий по нагреву, так как запас составляет менее 10%, что необходимо в случае изменения температуры окружающей среды, возможного изменения геометрических параметров детали или ее материала.

Установка двигателя большей мощности для данного станка не может быть выполнена, так как одним из ограничений для внедрения нового двигателя является ограничение пространства для установки нового двигателя в имеющейся нише станка, где установлен существующий электродвигатель ведущего круга, поэтому необходимо использование двигателя с принудительной вентиляцией (ИС 416), которая увеличивает величину момента двигателя при использовании его в любом требуемом диапазоне регулирования до номинальных значений $N_{\text{НОМ}}=10,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$ [22,28].

2.2 Выбор серии преобразователя частоты

На данный момент преобразователи частоты выпускаются огромным множеством фирм как иностранными, так и российскими. Мировыми лидерами в производстве преобразователей являются ф. “Siemens”, ф. “Allen Bradley”, ф. “General Electric”, ф. “MITSUBISI”, ф. “OMRON” и т.д., в различных исполнениях, в диапазоне мощностей от долей киловатт до десятков мегаватт. В России основными производителями электроприводной техники и систем управления являются “Балтсистем” и (Санкт-Петербург), “Электропривод” (Киров), Веспер и ИЕК (Москва).

Для Механосборочных производств ПАО “АВТОВАЗ” характерно наличие списка рекомендованных производителей и поставщиков электротехнического оборудования и систем управления как по фирмам поставщикам, так и по конкретно определенным их сериям.

В основные поставщикам электроприводного оборудования включены такие импортные производители как ф. Siemens, Allen-Bradley, Schneider-Electric, Fanuc, ABB. Надо отметить, что на данный момент в действующем производстве применяются только специализированные приводные системы отечественного производства или подобные системы, разработанные Управлением главного механика ПАО “АВТОВАЗ”.

Более 70% от объема электроприводных систем, находящихся в эксплуатации в подразделениях, занимающихся механической обработкой это продукция ф. Siemens, так как этот производитель является одним из мировых лидеров в производстве систем автоматизации в промышленности, в том числе и в производстве систем электроприводов и хорошо зарекомендовал себя, а также имеет развитую в Россию систему региональных складов и технической поддержки [17].

На данный момент, на оборудовании достаточно широко применяются преобразователи общепромышленной серии Micromaster различных версий, произведенные фирмой “Siemens”. Но данные преобразователи

зарекомендовали себя как достаточно надежные при эксплуатации, но не всегда они достаточно ремонтпригодны.

Для данной серии характерно то, что она выполнена в виде моноблока и в случае выхода из строя силовой части приходится снимать весь преобразователь целиком, что достаточно неудобно. А иногда, в случае мощностей более 15 кВт обычно требуется два специалиста в связи с большими массо-габаритными показателями устройства. Также для данных преобразователей в последние 2 года уменьшилось предложение по поставке силовых и управляющих модулей, что значительно увеличивает время ремонта и его стоимость. Внешний вид преобразователей серии Micromaster (Микромастер) представлен на рисунке 22.[21]



Рисунок 22 – Внешний вид преобразователей серии Микромастер 4
ф. “Siemens”

На данный момент фирмой “Siemens” выпускается серия преобразователей Sinamics. Особенностью данной серии по сравнению с Микромастерами является ее модульность и значительно большая функциональность.[4]

Серия Sinamics включает в себя две отдельных группы приводов: 1) серии G1XX 2) серии S1XX. Каждая из этих серий предназначена для работы с определенным набором двигателей и заменяют собою сразу несколько устаревших серий преобразователей.

Серия Sinamics S120 фактически заменяет собой всю линейку приводов с серводвигателями и приводов главного движения, таких как Simodrive 611 D, 611U, MasterDrive, Simodrive 650 и т.д., данная серия позволяет работать также и с асинхронными двигателями. Линейка SINAMICS S120 решает сложные задачи для приводов широкого спектра промышленных приложений, поэтому она и имеет модульную конструкцию. Из множества согласованных друг с другом компонентов и функций пользователь создает комбинацию, точно отвечающую его потребностям.

Серия же Sinamics G120 фактически производится как замена уже снятой с производства, но массово используемой в производстве линейки приводов Микромастер (серии 3, серий 410/420/430/440) и Midimaster Vector.

2.3 Преобразователи частоты серии Sinamics G120

Преобразователи серии Sinamics G120 представляет из себя набор блоков и модулей из которых формируется комплектное устройство, минимально включающее в себя модуль управления, единый для всех мощностей в одной линейке, силовой модуль, который выбирается в зависимости от мощности двигателя и набора дополнительных модулей, которые навешиваются на базовую сборку из силового и управляющего модуля. В линейке Sinamics G120 любой управляющий модуль может комбинироваться с любым силовым модулем [26]. Схема компоновки модулей преобразователя в комплектное устройство представлена на рисунке 23.

Управляющий модуль контролирует и управляет силовым модулем и подключенным к нему двигателем, с возможностью выбора различных законов управления. Он обеспечивает коммуникацию с локальными и централизованными системами управления а также с другими устройствами.

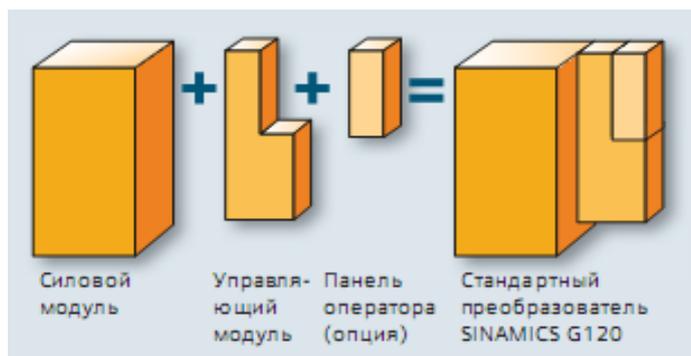


Рисунок 23 - Схема компоновки преобразователей Sinamics G120

Управляющий модуль контролирует и управляет силовым модулем и подключенным к нему двигателем, с возможностью выбора различных законов управления. Он обеспечивает коммуникацию с локальными и централизованными системами управления а также с другими устройствами.

Силовые же модули имеют линейку мощностей обеспечивающими работу двигателей в диапазоне от 0,37 кВт до 250 кВт. Для надежной и работы двигателя используется силовые модули IGBT с ШИМ (широтно-импульсной модуляцией). Частотные преобразователи серии Sinamics G120 в сочетании с асинхронными двигателями могут использоваться для решения самых разных задач, требующих изменения скоростями вращения рабочего органа. Внешний вид компонентов системы электропривода Sinamics представлен на рисунке 24. Основные технические данные преобразователей серии Sinamics G120 представлены в таблице 2 [33].



Рисунок 24 - Компоненты преобразователя серии Sinamics G120 ф.Siemens

Таблица 2 - Основные технические данные серии Sinamics G120

U _{питания} / мощность	3 фазы 380-480В ±10% /Мощность 0,37... 250 кВт
Выходная частота	0... 650 Герц
Допустимые перегрузки	Низкая (LO>): 150% на 3 сек. плюс 110% на 57сек. за рабочий цикл в 300с. Высокая (HO): 200% на 3 сек. плюс 150% на 57сек. за цикл в 300секунд
Степень защиты	IP20/IP55
Конструкция	Модульная конструкция: управляющий модуль (CU), силовой модуль (PM) + панель оператора(OP).
Рабочая температура	0 до +40°C без ухудшения параметров; +40 до +60°C с ухудшением номинальных параметров
Тип управления	U/f, U<2/f, FCC<, параметрируемая U/f<, векторное без датчика, векторное с датчиком
Входы	от 4 до 11 цифровых входов, выбор логики NPN/PNP; 1 или 2 биполярных/униполярных аналоговых входа, режим по току (0/4...20мА)/ напряжению (-10...+10В) Опционально - 2 специальных входа, 1 вход переключается с помощью DIP-переключателя между входом по току и датчиком температуры 0/4 ... 20мА и 1 вход только для датчика температуры типа NI"1000/PT1000. Аналоговые входы могут использоваться как цифровые входы
Выходы	1 до 7 цифровых выходов (релейные, транзисторные); 1 или 2 аналоговых выходов, режим по току (0/4...20мА)/напряжению (-10...+10В)
Интерфейсы связи	USS/Modbus, PROFIBUS DP, PROFINET, CANopen
Торможение	Реостатное торможение (встроенный модуль), торможение постоянным током, смешанное

Основными особенностями данной серии является: 1) модульная конструкция системы электропривода; 2) возможность проведения “горячей замены модулей” без отключения напряжения и без повторной их настройки; 3) простое увеличение мощности преобразователя и добавление дополнительных функциональных возможностей путем замены отдельных компонентов.

Простой вариант замены модулей обеспечивает максимальное удобство при обслуживании системы. Благодаря встроенным функциям обеспечивается снижение затрат при интеграции приводов в безопасно-ориентированные машины и установки [32].

Благодаря наличию двунаправленного входного выпрямителя с промежуточным контуром малой емкости у преобразователя имеется возможность рекуперативного торможения при использовании соответствующего силового модуля PM250. Благодаря этой способности к рекуперации возможна значительная экономия энергии, так как более не требуется сброс избыточной энергии на балластный резистор.

Преобразователи имеют встроенный интерфейс USB для упрощенного локального ввода в эксплуатацию и диагностики.

У данной серии присутствуют специализированные функции для насосов, вентиляторов и компрессоров: например: 4 свободно программируемых ПИД-регулятора, интерфейсы датчиков температуры Pt1000/LG-Ni1000, 3 свободно программируемых, цифровых таймера [29].

Для отдельных управляющих модулей CU250S-2 имеются встроенные функции позиционирования (EPos), которые позволяют решать задачи позиционирования на полевом уровне, но с высокой динамикой. Для реализации этого применяются инкрементальный или абсолютные энкодеры. Для данных модулей возможно использование повсеместно внедряемого интерфейса датчиков DRIVE-CLiQ (HTL/TTL/SSI (SUB-D) и резольверов/HTL) (рисунок 25), что значительно упрощает монтаж и сокращает время

замены, за счет быстроразъемных соединений. Для этих же управляющих модулей характерно наличие векторного управления с датчиками и без них.

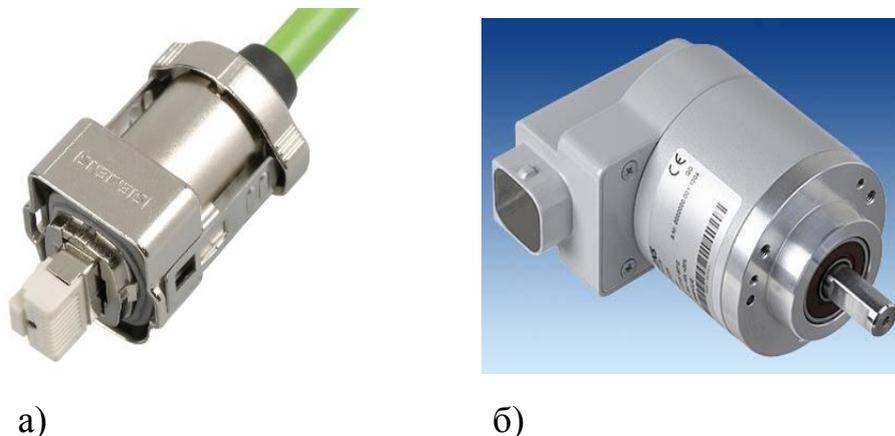


Рисунок 25 – а) Разъем DRIVE-CLiQ б) энкодер DRIVE-CLiQ

Преобразователи данной серии имеют увеличенную надежность и больший срок службы, по сравнению с предыдущими сериями благодаря новому решению по системам охлаждения и лакировке плат и блоков: внешний радиатор, отсутствие электронных компонентов в воздушном канале, охлаждение управляющего модуля осуществляется только по принципу конвекции, выполнена дополнительная лакировка самых важных компонентов. Эта серия характеризуется низким уровнем шума при работе двигателя из-за высокой частоты импульсов. Преобразователи серии Sinamics имеют компактные размеры и малые габариты. [14]

Основными характеристиками данной серии приводов это: технология силовых элементов IGBT, микропроцессорное управление, U/f - управление линейное, U/f - управление квадратичное, наличие параметрируемой кривой зависимости U/f , «подхват на ходу», компенсация скольжения, автоматический повторный запуск в случае пропадания сети или нарушениях режима работы, простое регулирование процесса благодаря внутреннему PI-регулятору, параметрируемое время разгона и торможения в широком диапазоне, сглаживание кривой пуска, комбинированный тормоз,

контролирующий быстрый останов, частоты пропускания против резонанса [25].

Данная серия обладает следующими защитными параметрами:

- защита от перенапряжения и пониженного напряжения
- защита от перегрева преобразователя
- защита двигателя при помощи подключения терморезистора через цифровой вход
- защита от короткого замыкания
- тепловая защита двигателя i^2t и защита блокировки двигателя

Более всего эти преобразователи подходят для использования в шпиндельных приводах малой мощности, насосах, вентиляторах и подъёмно-транспортной технике. Преобразователи данной серии представляет собой идеально оптимизированный по цене частотный привод. Они отличаются благодаря высокой производительности и комфортабельному интерфейсу для их использования и параметрирования. Большой диапазон сетевого напряжения позволяет использовать их в практически любых условиях и в любой части мира.

В качестве дополнительных опций к основным компонентам привода, фирма “Сименс” поставляются компоненты для параметрирования и ввода преобразователя в эксплуатацию [30, 37]. Другие дополнительные системные компоненты, такие как дроссели и фильтры преобразователя выполнены в виде каркасных компонентов, т.е. компоненты монтируется на крепежный лист, а преобразователь крепиться над ними. Друг над другом может быть смонтировано до двух каркасных компонентов.

Дополнительные системные компоненты, такие как дроссели и фильтры преобразователя выполнены в виде каркасных компонентов, т.е. компоненты монтируется на крепежный лист, а преобразователь крепиться над ними. Друг над другом может быть смонтировано до двух каркасных компонентов.

Сетевые дроссели преобразователей серии Sinamics оснащаются на стороне сети клеммами, а на стороне к силовому модулю кабелем с разъемами. Для двух типоразмеров FSA и FSC сетевые клеммы в смонтированном состоянии находятся сверху, а у типоразмеров от FSD до FSE соответственно внизу. Вместе с сетевым дросселем габарита FSA можно использовать сетевой фильтр класса А. В этом случае питающий разъем будет находиться внизу, начиная с типоразмера FSB силовые модули могут заказываться и поставляться уже вместе со встроенными сетевыми фильтрами класса А, в таком случае внешний фильтра класса А не применяется. Варианты комбинации дросселей для подключения их к преобразователю представлены на рисунке 26.

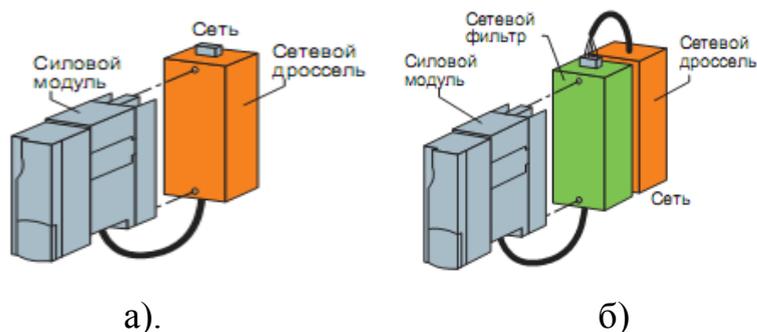


Рисунок 26 - а) подключение преобразователя без сетевого фильтра б) подключение преобразователя с сетевым фильтром

Силовые модули преобразователя представлены в разных типоразмерах в диапазон мощностей от 0,37 кВт до 250 кВт [25]. Внешний вид силового модуля серии PM240-2 представлен на рисунке 27.



Рисунок 27 - Силовой модуль PM 240 преобразователя Sinamics G120

Список дополнительных опций данной приводной системы представлен в таблице 2.

Таблица 2 - Список дополнительных опций преобразователей серии Sinamics G120 ф.Siemens

	<p>Базовая панель оператора (BOP) и IOP (интеллектуальная панель) для параметрирования, диагностики, управления и копирования параметров привода.</p>
	<p>Карта памяти MMC для ввода в эксплуатацию преобразователей и резервного копирования данных на внешнее устройство.</p>
	<p>Комплект для подключения РС и ПО для ввода в эксплуатацию Starter с помощью РС.</p>
	<p>Фильтры и дроссели, Тормозные резисторы Сетевые дроссели, Выходные дроссели</p>
	<p>Реле тормоза, Реле безопасности для тормоза, KIT комплект для монтажа привода на DIN-рейку, KIT комплект подключения экрана</p>

Технические характеристики силовых модулей представлены в таблице 3.

Таблица 3. - Технические характеристики силовых модулей

Тип	PM230	PM330	PM240/ 240-2	PM250
Мощность	380-480В 160 – 250кВт (LO)	380-480В 0,37 – 250кВт (LO)	380-480В 1,5 – 90кВт (LO)	380-480В 7,5 – 90кВт (LO)
Защита	IP20/IP55	IP20	IP20	IP20
Торможение	торможение	резистор	резистор	рекуперация
Гармоники	низкие	стандартные	стандартные	низкие
Safety Integrated	-	-	+	+
Выходной дроссель или фильтр	внешний	внешний	внешний	внешний
Динамический разгон	Отсутствует	Есть	Есть	Есть
Динамическое торможение	Отсутствует	Есть (с резистором)	Есть (с резистором)	Есть
Применение	насосы, вентиляторы компрессоры	насосы, вентиляторы компрессоры	в машино строении	в машино строении

Управляющие модули для данной серии преобразователей обозначаются как CU (англ. – Control Unit). Исходя из числа входов/выходов и возможно необходимых дополнительно функций, как то Safety Integrated, сначала выбирается оптимальный управляющий модуль. Опции коммуникации уже интегрированы в модуль. Существует несколько серий управляющих модулей, которые отличаются по своим функциональным возможностям. Основным отличием является назначение управляющих клемм, а также разные интерфейсы шины связи.

В зависимости от области применения, выпускают 3 линейки приводов. Модули CU230P-2 разработаны для использования с насосами, вентиляторами и компрессорами [24]. Модули CU240 могут использоваться в основных устройствах, применяемых в машиностроении, как то ленточные транспортеры, мешалки и экструдеры. Модули CU250S-2 могут использоваться для индивидуальных приводов с высокими требованиями к управлению по скорости, например, экструдеров, центрифуг, и для таких задач позиционирования, как ленточные транспортеры, грузоподъемные операции. Также возможна реализация и многодвигательных приводов без связи по постоянному току, например, волочильных станов.

На рисунке 27 представлен внешний вид управляющего модуля серии CU240, предназначенного для индивидуальных приводов. На модуле отмечены следующие части: 1) Шильдик 2) DIP-переключатель, аналоговые входы 3) Интерфейс для ОП или комплекта для соединения с РС или РГ 4) Светодиоды состояния 5) Клеммные колодки для цифровых и аналоговых входов и выходов 6) USB-интерфейс 7) Колодка подключения к силовому модулю 8) Крепежные кронштейны



Рисунок 27 - внешний вид управляющего модуля серии CU240

2.4 Программное обеспечение преобразователей Sinamics

Конфигурирование приводных систем осуществляется с помощью программного обеспечения SIZER. Этот программный пакет может конфигурировать следующие приводные системы: 1) линейка приводов серии SINAMICS 2) Simodrive 611U 3) линейка приводов Micromaster 4).

Программа SIZER поддерживает все необходимые задачи при техническом расчете привода аппаратные и микропрограммные компоненты приводных систем. SIZER включает в себя проектирование комплексных приводных систем и обеспечивает как обслуживание единичных приводных осей так и сложных многоосевых систем [31].

SIZER делает последовательную обработку всех шагов конфигурирования: 1) конфигурирование сетевого питания 2) расчет двигателя и редукторов, включая передаточные элементы 3) конфигурирование компонентов привода поддержка конфигурирования топологии сети 4) компоновка всех необходимых принадлежностей 5) выбор опций со стороны сети и двигателя, таких как фильтры, дроссели, кабели. В программе SIZER основной упор сделан на удобство в использовании и унифицированную, ориентированную на функции обзорность задач приводов.

Управление действиями пользователя упрощается при помощи утилиты для конфигурирования SIZER, при этом данная программа всегда показывает состояние и этап конфигурирования привода. Программный интерфейс пользователя SIZER выполнен на немецком, английском, французском и итальянском языках, к сожалению, русского языка для данного программного продукта фирма Сименс не выпускает.

Внешний вид экрана при конфигурации приводных систем в программе SIZER представлен на рисунке 28.

Конфигурация системы электропривода сохраняется в проекте SIZERa, а все используемые в проекте компоненты и функции отрисовываются в виде

древовидной структуры. Проект дает возможность конфигурировать приводные системы, а также копировать и менять уже сконфигурированные приводные системы по желанию проектанта.

Результат конфигурирования может выглядеть как: 1) спецификация всех необходимых покупных компонентов, экспортированная в Excel, для составления готовой закупочной спецификации 2) технические параметры системы и ее характеристики 3) результат по воздействию системы на силовую сеть 4) чертеж компонентов системы и габаритные чертежи двигателей.

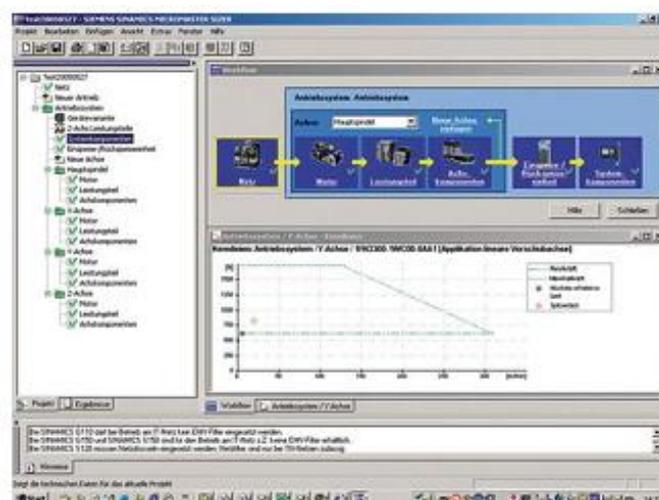


Рисунок 28 – Внешний вид рабочего окна программы SIZER

Для технической поддержки пользователя имеется возможность обратиться в технологическую поддержку (Online), которая дает доступ к подробным техническим параметрам и информацию по приводным системам и всем их компонентам.

2.5 Способы управления и регулирования асинхронного двигателя

Для асинхронных двигателей существует два различных метода управления: 1) Управление с характеристикой U/f (управление U/f) 2) Векторное управление. Критерии выбора управления U/f или векторного

управления U/f управление достаточно для большинства систем, где необходимо регулировать скорость асинхронных двигателей [3.6]. Примерами таких систем в которых обычно используется этот вариант управления являются: 1) компрессоры 2) вентиляторы 3) насосы 4) транспортеры.

Для ввода в эксплуатацию привода с управлением по вектору занимает больше времени, чем при U/f управлении. Но, по сравнению с управлением U/f, векторное управление дает следующие преимущества: 1) Более стабильная скорость при изменениях нагрузки двигателя, 2) Сокращение времени разгона при изменениях заданного значения, 3) Разгон и торможения возможны с настраиваемым максимальным моментом вращения 4) Улучшенная защита двигателя и приводимого в действие механизма благодаря настраиваемому ограничению момента вращения, 5) Такой закон управления обычно используется в следующих механизмах: 1) Подъемники 2) Намоточные станки 3) Экструдеры.

Также необходимо помнить, что нельзя использовать векторное управление в следующих случаях: 1) если по сравнению с преобразователем номинальная мощность двигателя ниже чем 25% номинальной мощности преобразователя 2) в случае одновременной работы от одного преобразователя нескольких двигателей 3) если максимальная скорость двигателя выше значений, указанных в таблице 3.[34]

Таблица – 3 Ограничение скорости для различных двигателей при векторном управлении.

Частота ШИМ	2 кГц			4кГц		
	2p=1	2p=2	2p=3	2p=1	2p=2	2p=3
Число пар полюсов двигателя						
Макс. скорость двигателя об/мин	9960	4980	3320	14400	7200	4800

Для защиты двигателя в преобразователе используется тормозной резистор типа PTC. Для защиты двигателя от перегрева можно использовать следующие датчики: 1) датчик PTC 2) датчик КТУ 84 3) датчик ThermoClick.

В российских асинхронных двигателях применяется датчик типа PTC, который подключается к клеммам 14 и 15 управляющего модуля. Допустимое значение для включения предупреждения или ошибки равно 1650 Ом. После срабатывания датчика двигателя, в зависимости от установки в параметре P0610 преобразователя или выводится предупреждение или происходит отключение преобразователя с индикацией ошибки F07011 на панели оператора. В случае уменьшения сопротивления термодатчика ($R_{PTC} < 20$ Ом) преобразователь воспримет это коротким замыканием самого датчика температуры. Возможен расчет температуры двигателя без применения терморезисторов, а только с применением математической модели, но этот вариант возможен лишь при векторном управлении. [15]

2.6 Выбор типа преобразователя для бесцентрошлифовального станка

На основании того, что при управления двигателем ведущего круга бесцентрошлифовального станка целесообразно применить бездатчиковое векторное управление и руководствуясь рекомендациями по применению преобразователей фирмы-производителя и техническими характеристиками приведенными в [29,32] и [23], для асинхронного двигателя RA100 L2 выбираем силовой модуль без встроенного фильтра PM240 мощностью 3 кВт (заказной номер 6SL3211-1PE18-0AL1) с фильтром А, управляющий модуль CU240E-2 PN оснащенного интерфейсом связи Profinet/EtherNet IP (заказной номер 6SL3244-0BB12-1FA0) карту памяти Sinamics типа SD-Card 512 Мбайт + FW версии 4.7 (Multicard V4.7) с заказным номером 6SL3054-7EH00-2BA0, а также базовую панель оператора BOP (заказной номер 6SL3255-0AA00-4CA1).[36]

2.7 Параметрирование преобразователя частоты и ввод в эксплуатацию

Доступ к параметрам преобразователя осуществляется либо с помощью панели оператора, либо через специализированный программный пакет STARTER ф. Сименс с помощью программатора типа Field PG или с помощью стандартного ноутбука с помощью адаптера или же напрямую по сети Ethernet через разъем ноутбука типа RJ45 (рисунок 29). В качестве еще одной возможности для передачи параметров в преобразователь используется сохранение всех данных с одного преобразователя на карту памяти MMC или же панель оператора для их последующей передачи на другой преобразователь с такой же конфигурацией. Это актуально, например при параметрировании группы однотипных станков или же одного станка с несколькими одинаковыми осями [30].

Существуют следующие базовые варианты ввода в эксплуатацию:

- 1) Ввод в эксплуатацию с использованием заводских установок (установок по умолчанию)
- 2) Ввод в эксплуатацию с помощью панели оператора
- 3) Ввод в эксплуатацию с помощью программного пакета STARTER для ввода в эксплуатацию
- 4) Резервирование данных с помощью панели оператора и MMC (карты памяти).



Рисунок 29 – Способы ввода в эксплуатацию при помощи панели и программатора.

Основными способами ввода в эксплуатацию преобразователей для этой серии преобразователей, в случае замены и модернизации приводных осей, является ввод данных с помощью панели оператора привода и с помощью программы STARTER. Внешний вид окна программы STARTER представлен на рисунке 30. Данная программа для работы с приводом дает возможность ввода в эксплуатацию, оптимизацию и диагностики приводной системы.

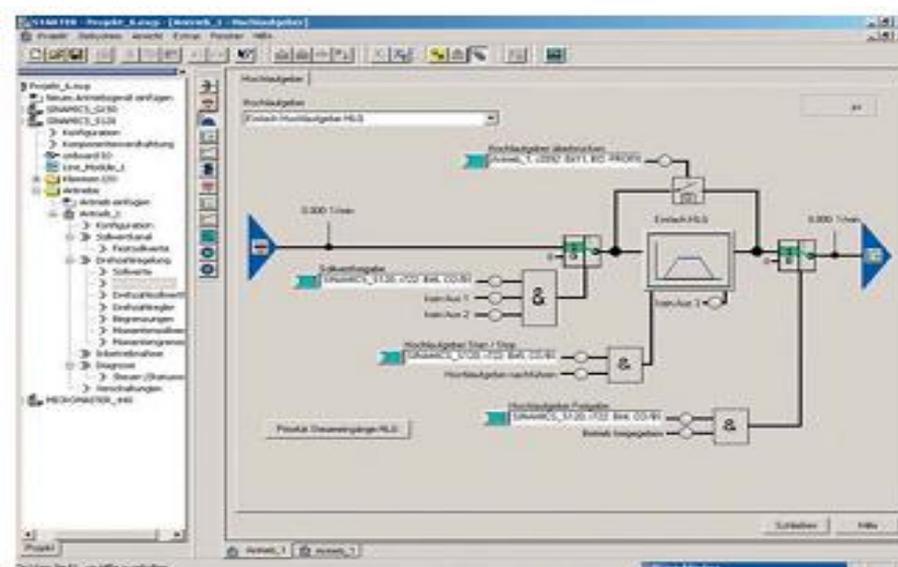


Рисунок 30 - Внешний вид окна программы STARTER

Данное программа может использоваться как самостоятельное приложение для программатора, так и частью других программных пакетов, например SIMATIC STEP 7, при этом его функциональность и использование абсолютно не будут зависеть от этого. STARTER, поддерживает и все привода линейки Sinamics, Micromaster 4, Simodrive 611D и преобразователи частоты для децентрализованной периферии SIMATIC ET 200S FC. STARTER дает поддержку через диалоговые окна, при этом сквозное графическое представление значительно упрощает сам процесс понимания параметрирования приводных систем. Система конфигурируется таким образом, что при вводе небольшого количества установочных параметров

привод конфигурируется таким образом, что двигатель сможет вращаться. Все необходимые индивидуальные параметры и установки осуществляются с помощью экранов параметрирования, которые достаточно точно визуализируют сам принцип работы конфигурируемой приводной системы [26,30].

Индивидуально настраиваются следующие условия: функции для клемм и подключение шины, конфигурацию канала задания (например фиксированные заданные значения), управление числом оборотов (датчики интенсивности) и т.д.

Также дополнительно для оптимизации используют следующие функции: а) автоматическая оптимизация установок регулятора б) трассировка характеристик привода (в зависимости от преобразователя). Персонал, выполняющий обслуживание приводов может осуществить связь с приводом и изменить его параметры через следующие интерфейсы, встроенные в преобразователь, изображенные на рисунке 31: 1) полевую шину (Profibus, CAN, Profinet) 2) с помощью ПО STARTER 3) с помощью панели оператора 4) с карты памяти 5) через порт RS232 [38]

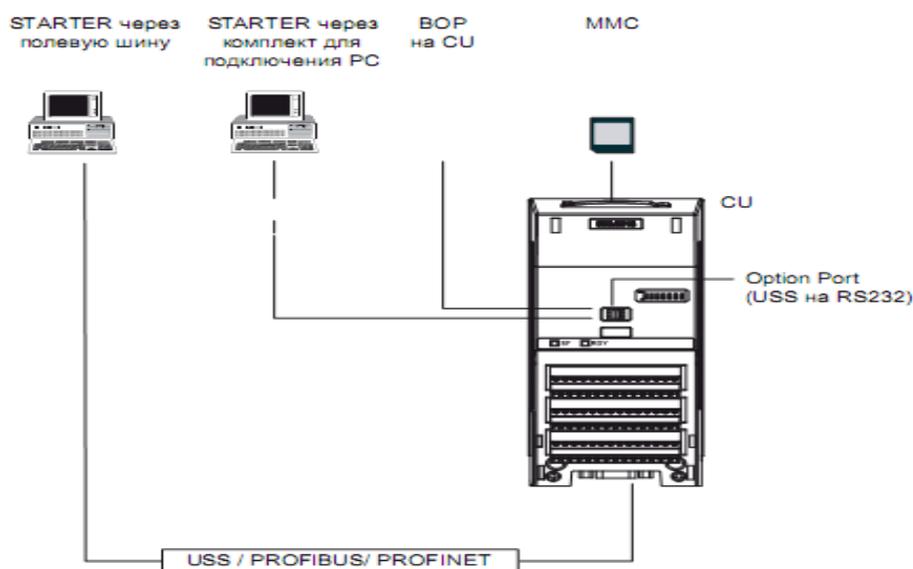


Рисунок 31 - Интерфейсы связи с преобразователем Sinamics G120

Функции диагностики привода дают информацию о: управляющих словах и состоянии параметров, состоянии коммуникации приводной системы, условиях эксплуатации. Диагностика может проводиться по сигналам светодиодов на приводе, по сообщениям с панели оператора привода, с программатора или с панели оператора человекомашинного интерфейса, установленного на оборудования (Human Maschine Interface) [33,35].

На рисунке 32 представлено построение системы диагностики при помощи программатора серии Field PG с установленным на нем программным пакетом STARTER.

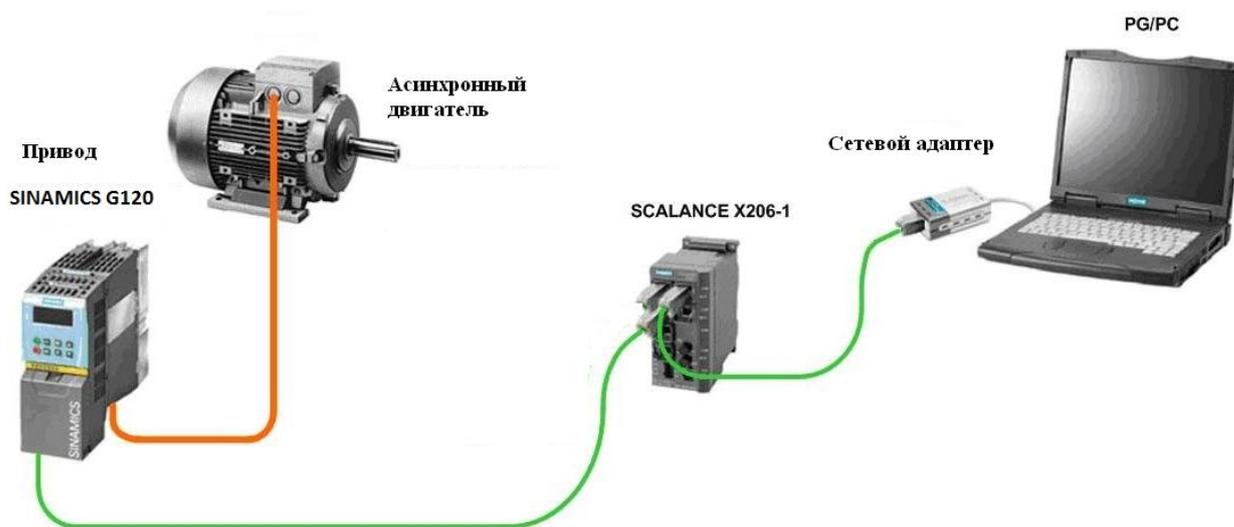


Рисунок 32 - Диагностика электропривода Sinamics G120 при помощи программатора Field PG

Все преобразователи Sinamics предустановлены на заводе для работы с 4-полюсным трехфазным асинхронным двигателем, который соответствует рабочим характеристикам преобразователя по мощности.

Если для ввода в эксплуатацию используется STARTER или же используется двигатель ф. Сименс, то достаточно просто указать заказной номер двигателя и привод сам автоматически сформирует входные

параметры именно для него, иначе потребуется самостоятельно ввести данные с таблички движка в номерах соответствующих параметров [6].

Минимальный набор параметров, требуемый для параметризации и ввода в эксплуатацию двигателя это: 1) P304 = MOTOR VOLT = напряжение двигателя, 2) P305 = MOTOR CURRENT = номинальный ток двигателя, 3) P307 = MOTOR POWER = номинальная мощность двигателя, 4) P311 = MOTOR RPM = номинальная скорость двигателя.

Пример того, какие параметры с таблички двигателя в какой параметр преобразователя необходимо ввести для полного определения двигателя представлен на рисунке 33.

Также необходимо помнить, что введенные данные с таблички должны соответствовать соединению двигателя (соединение звездой [Y]/ соединение треугольником [Δ]), т.е. при соединении двигателя треугольником ввести данные с таблички для треугольника [26].

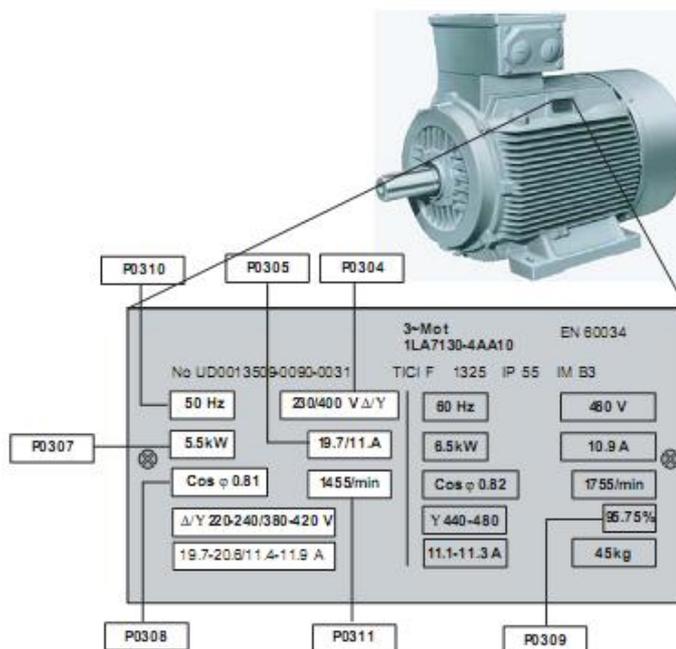


Рисунок 33 Параметры вводимые с таблички электродвигателя при его параметрировании.

2.8 Монтаж силовой части преобразователя на оборудовании

Подключение силовой части преобразователя к промышленной трехфазной сети переменного тока напряжением 380V производится на основании рекомендаций фирмы-производителя [29]. Вариант подключения к такой сети, через автомат, который обеспечивает защиту системы электропривода от короткого замыкания изображен на рисунке 34.

Для обеспечения требований техники безопасности при эксплуатации электрооборудования необходимо обеспечить надежное подключение преобразователя и двигателя, запитанных по схемам PE или PEN.

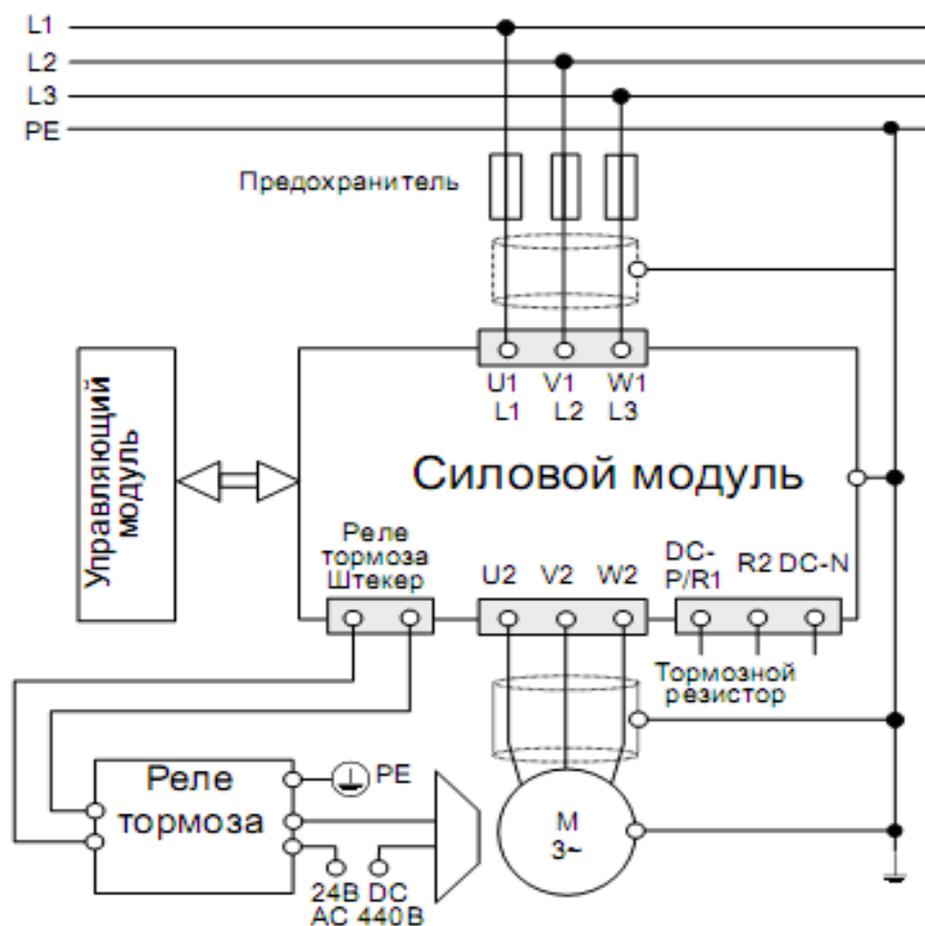


Рисунок 34 - Рекомендуемая схема подключения силовой части электропривода со схемой заземления

На двигателях на внутренней стороне крышки клеммной коробки и в его паспорте находится изображение обоих типов соединения: соединение звездой (Y) и соединение треугольником (Δ), как это изображено на рисунке 35.

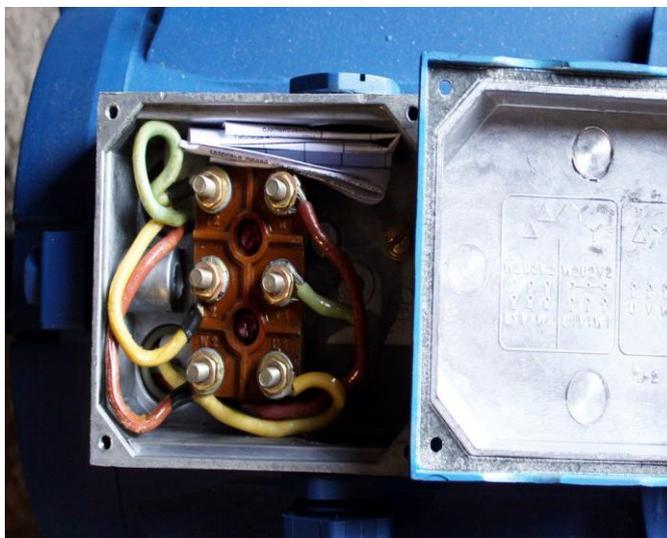


Рисунок 35 – Крышка клеммной коробки выводов с маркировкой типов соединений

На табличке двигателя всегда приведены данные соединения: например: 220/380В (Δ/Y) значит, что при напряжении питания 380В двигатель включен по схеме звезда. Питание необходимо подвести на клеммы U1(L1), V1(L2) и W1(L3), а защитный(земляной) проводник непосредственно подключить к клемме PE, расположенной на самом преобразователе. Силовые модули без сетевого фильтра подходят для подключения к сетям с заземленной нейтралью типа TN и TT. Силовые модули с сетевым фильтром можно подключить только к сетям типа TN.

В случае наличия внешнего балластного резистора для торможения его подключают к разъемам DCP/R1 и R2. Заземлять балластный резистор необходимо не на преобразователе, а на самой шине заземления, расположенной на в шкафу управления.

Внешний вид клемм для непосредственного подключения силовой части преобразователя и их место расположения представлено на рисунке 36.

Сам двигатель надо подключать к клеммам питания привода (U2, V2, W2), а заземление двигателя подключается к клемме самого привода.

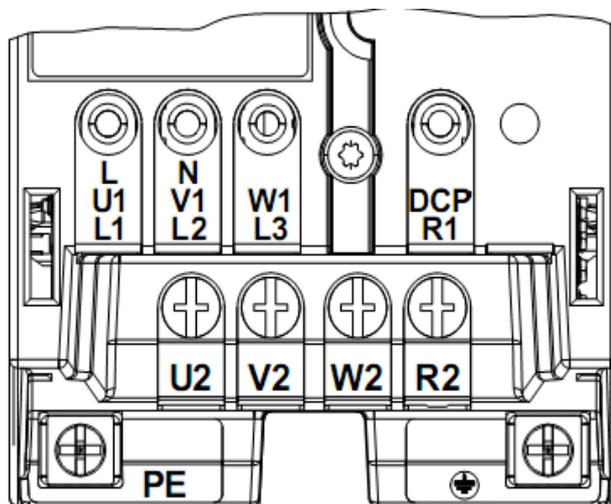


Рисунок 36 - Внешний вид клемных колодок для подключения силовой части преобразователя Sinamics G120

Также имеются ограничения по длине кабеля для подключения двигателя к преобразователя: 1) для не экранированных кабелей длина трассы составляет до 100 м 2) для экранированных, менее 50 м для преобразователя не оснащенного фильтром по питанию 3) 25 м для в случае применения преобразователя оснащенного фильтром.

2.9 Монтаж управляющего модуля привода Sinamics G120.

Модуль управления закрепляется на силовом модуле с помощью единственной защелки, которая находится сверху. Этот модуль “закрепляется” непосредственно на корпусе самого силового модуля. Электрический контакт между силовым и управляющим модулем происходит активация всех связей привода. Для демонтажа управляющего

модуля (2) требуется нажать на кнопку разблокировки на силовом модуле (3) изображенную на рисунке 37 и отсоединить от него управляющий модуль.

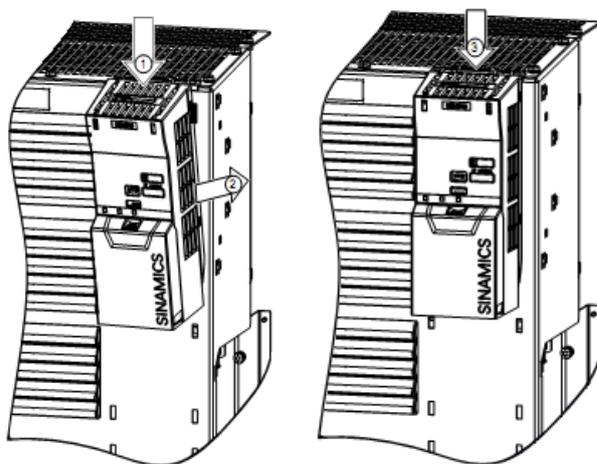


Рисунок 37 - Монтаж модуля управления на силовом модуле

Монтаж преобразователя непосредственно на оборудовании будет делать на монтажной панели шкафа управления или в отдельном шкафу. На силовой модуль устанавливают управляющий модуль, а в него карта памяти с соответствующей версией программного обеспечения для модуля [25].

Задание частоты вращения двигателя производится экранированным кабелем к аналоговому дифференциальному входу к клеммам 3,4. Регулировка диапазона скорости осуществляется потенциометром R1 расположенным на двери шкафа управления. Подача сигнала “Старт/Стоп” и снятие блокировки вращения вала двигателя производится подачей сигналов высокого уровня с клеммы 9 (+24V) через релейный контакт K8.2, K8.3 соответственно на свободно программируемые цифровые входа 1 и 2 (клеммы 5,6). Блок контакт автомата SF, включение вентилятора подключен к клемме 9 в цепь питания входов привода, для блокировки подачи напряжения в случае его отключения. Выходные сигналы "Работа" и “Ошибка” заводятся в контроллер управления станком и используются для блокировки автоматического цикла.

Разработанная электрическая принципиальная схема подключения системы электропривода приведена на рисунке 38.

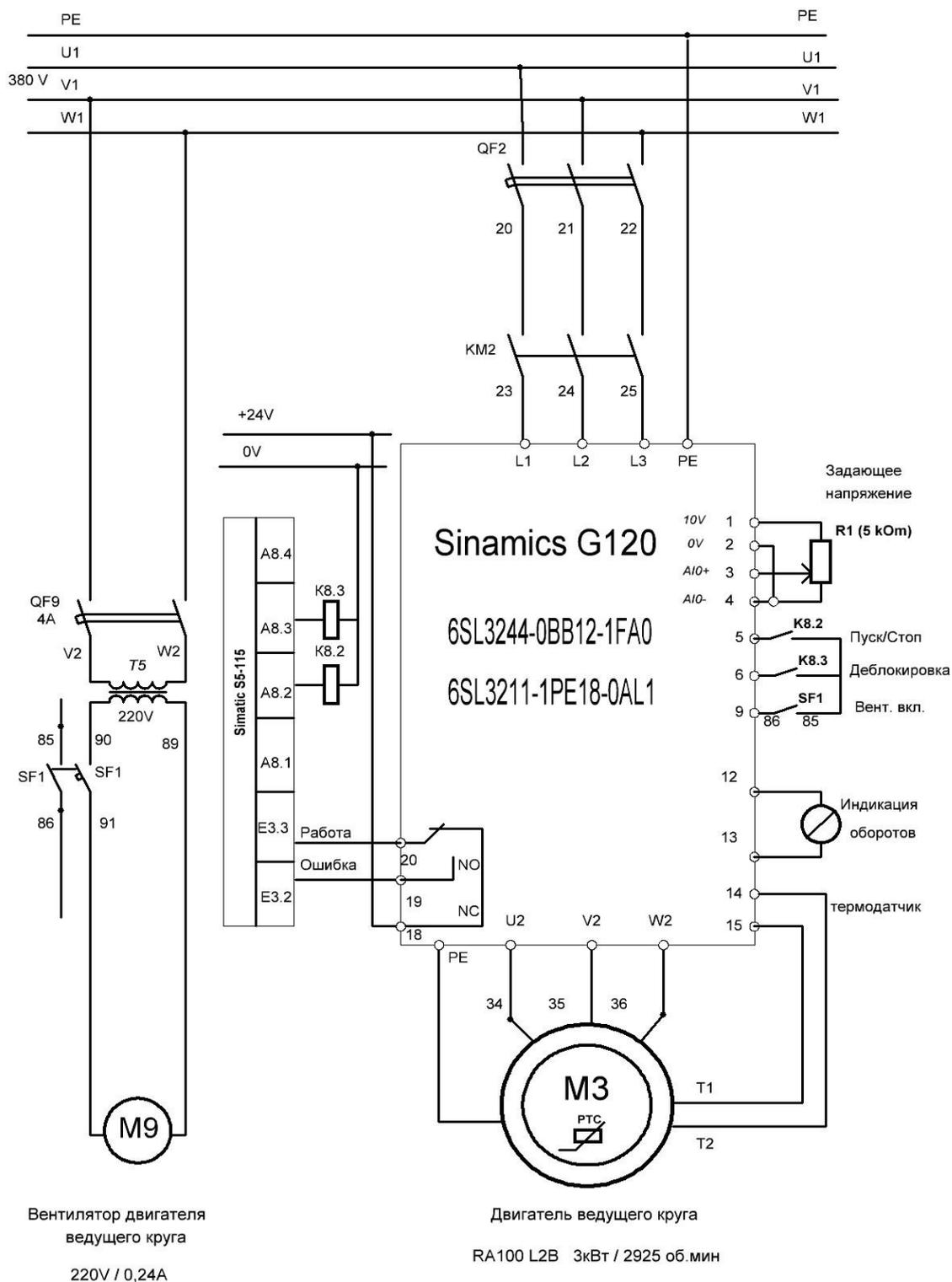


Рисунок 38 - Электрическая принципиальная схема подключения системы электропривода на оборудовании

3 Узлы независимой вентиляции

3.1 Устройство узлов независимой вентиляции

Независимая (принудительная) вентиляция электродвигателя, работает постоянно с равномерным потоком воздуха независимо от электродвигателя и очень просто подключается, узел охлаждения возможно закрепить на абсолютно на любом стандартном электродвигателе выполненному по ГОСТ, DIN и иных, а тип питания узла вентиляции зависит от типа и мощности применяемого вентилятора.

Вентиляция обеспечивается энергией за счет собственного отдельного двигателя или вентилятора. Основа независимой вентиляции электродвигателя высокопроизводительный осевой вентилятор, который помещают или внутрь кожуха из металла толщиной 1,5 мм или устанавливается снаружи его непосредственно на корпус узлов независимой вентиляции (УНВ). Системы независимой вентиляции производятся как российскими, так и зарубежными производителями [22,23]. В последнее время достаточно много подобных систем вентиляции производят предприятия из Азии и Китая. Внешний вид узла независимой вентиляции (УНВ), произведенного в Китае представлен на рисунке 39.[36]



Рисунок 39 – Внешний вид узла вентиляции, произведенного в Китае

Кабели вентилятора предназначены для его подключения к питающей сети. Они представляют собой неэкранированный кабель, сечением проводников от 1 до 2.5мм². В зависимости от схемы подключения вентилятора кабель изготавливается либо двухжильным (1x220В+1N), либо четырехжильным (3x380В+1N). Напряжение питания вентилятора для габаритов 63÷100 – однофазное, 220В; для габаритов 112÷315 – трехфазное, 380В, ток цепи вентилятора не более 2А.

Со стороны двигателя на кабель (определяется конструктивным исполнением двигателя) устанавливается ответный разъем подключения к вентилятору двигателя, либо свободные концы, либо клемная коробка, со стороны подключения к сети - свободные концы. При использовании вентилятора типа «наездник», питание вентилятора осуществляется непосредственно через клеммную коробку вентилятора «наездника». Напряжение питания - трехфазное, 380В. Ток цепи вентилятора не более 3А.

Внешний вид узлов независимой вентиляции (УНВ), установленных на электродвигателях представлен на рисунке 40.



а)



б)

Рисунок 40 - Узел независимой вентиляции, установленный на электродвигателе а) встроенный в кожух б) с внешним вентилятором

Такой тип вентиляции предназначен для того, чтобы эффективно охлаждать механизм вовремя его работы на скорости ниже номинальной, так

как низкая частота вращения снижает КПД вентилятора установленного на валу, например, преобразователь частоты уменьшает скорость двигателя в 2 раза и более, при этом встроенная крыльчатка двигателя также замедляется, охлаждение двигателя ухудшается и он перегревается. Также если температура окружающей среды, в которой работает двигатель более +30°C или электродвигатель работает в тяжелых режимах с частыми пусками, остановками, реверсами, крыльчатка двигателя, также, скорее всего не будет справляться с охлаждением. Независимая вентиляция подаёт постоянный поток воздуха, по сравнению со встроенной в двигатель крыльчаткой охлаждения электродвигателя и охлаждение происходит даже при достаточно высокой температуре окружающей среды [3, 7].

В условиях крупного промышленного предприятия, на котором есть своя развитая ремонтная служба, а также имеется достаточно большой запас запасных частей. На складах в производстве на данный момент имеются только узлы независимой вентиляции ф. Siemens, применяемые на специализированных асинхронных двигателях для частотного управления. Данные двигатели имеют не стандартные размеры и очень большую мощность. Внешний вид таких узлов представлен на рисунке 41. Но применение данных узлов для стандартных асинхронных двигателей невозможно.



Рисунок 41 – Узел независимой вентиляции специальных асинхронных двигателей ф. Siemens

Так как на складах производства имеется в наличии достаточно комплектующих для непосредственного ремонта электрических машин как новых, так и оставшихся после списания и разборки на запасные части возможно их использование для целей самостоятельного создания УНВ, потому что закупка новой номенклатуры, такой как узел независимой вентиляции в единичных экземплярах не целесообразна.

Также стоит отметить, что сам процесс закупки новой номенклатуры на таких больших предприятиях как ПАО «АВТОВАЗ» происходит не более 2 раз в год, что достаточно долго и при этом не возможно провести не сложные, но часто срочно необходимые модернизации систем управления.

Исходя из всего вышесказанного, для целей использования стандартного асинхронного двигателя в системе с частным преобразователем для привода ведущего круга бесцентрошлифовального станка целесообразнее самостоятельно, в условиях ремонтных подразделений, доработать имеющийся на складе серийный двигатель под задачи частотного управления.

3.2 Доработка узла независимой вентиляции

Самостоятельная доработка стандартного асинхронного двигателя в условиях промышленного предприятия в целях изменения его способа охлаждения с IC 411 на IC 416 может быть выполнена в бригадах централизованного ремонта оборудования, которые занимаются мелким и средним ремонтом электрических машин, такие бригады имеются во всех Механосборочных производствах.

Для бесцентрошлифовального станка ф.» Лидкопинг» предлагаем использовать встроенный внутрь корпуса узла независимой вентиляции осевой вентилятор, необходимой производительности, который будет встроен в защитный кожух электродвигателя [28]. Принцип доработки узла вентиляции представлен на рисунке 42.

Так как кожух стандартного электродвигателя, не оснащенного электромагнитным тормозом, имеет достаточно малую длину, то его использование для создания такого узла он не подходит.



Рисунок 42 - Доработка узла вентиляции IC 411 под УНВ с IC 146

Для того что бы установить осевой вентилятор и он бы не упирался в нерабочий конец вала двигателя необходимо использовать защитный кожух от серийного двигателя со встроенным электромагнитным тормозом.

Данные кожуха при одном и том же габаритном размере электродвигателей оснащенных тормозом и без него, значительно длиннее, в связи с чем препятствий для установки вентилятора в данном кожухе не возникнет. Для устанавливаемого двигателя RA100L2B разница по длине между кожухом для двигателя с тормозом и без него составляет 89 мм [28].

На рисунке 43 показаны защитные кожухи для электродвигателей с типом вентиляции IC 411 без электромагнитного тормоза (внизу) и с ним (вверху) для стандартных электродвигателей одного и того же габарита.

Защитный кожух двигателя с тормозом, так же как и кожух для стандартных двигателей имеет одинаковые отверстия для их крепления, поэтому сможет быть закреплен на штатные места на новом двигателе и не потребует для этого каких-либо дополнительных доработок.

При этом с двигателя, который будет модернизироваться таким образом, потребуется демонтировать штатный вентилятор охлаждения, что бы он не создавал внутри УНВ излишнего давления воздуха, что может повлиять на акустические характеристики двигателя.



Рисунок 43 - Защитные кожухи крыльчатки электродвигателя (h=100 мм.): без тормоза (внизу), тормозом (вверху)

На данный момент на складах, в ремонтных подразделениях ПАО “АВТОВАЗ”, имеются в достаточном количестве вентиляторы различных конструкции и производителей, внешний вид которых представлен на рисунке 44.

Такие вентиляторы выпускаются на напряжение 24 VDC, 110/220 и 380 VAC, оснащаются как металлическими, так и пластиковыми корпусами и крыльчатками, в качестве подшипников применяются в зависимости от размера как бронзовые или пластиковые втулки, так и шарикоподшипники.



Рисунок 44 – Внешний вид осевых вентиляторов различных производителей

Крепление любого из таких вентиляторов в стандартном кожухе возможно сделать путем болтового соединения к стандартному защитному кожуху, пример такого крепления вентилятора фирмы EMB-Papst (Германия) в качестве вентилятора для УНВ импортного производства представлен на рисунке 45.

Как видно на рисунке, на нерабочем конце вала двигателя отсутствует крыльчатка вентилятора принудительного охлаждения.

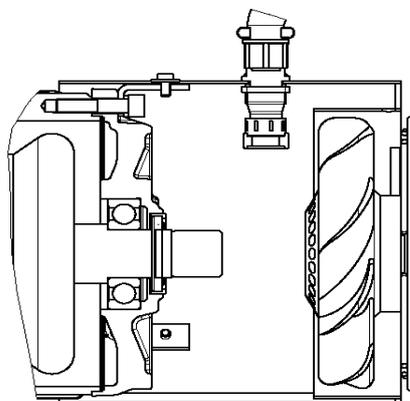


Рисунок 45 - Крепление вентилятора внутри УНВ.

Для доработки двигателя вращения ведущего круга для модернизированной системы электропривода с управлением от преобразователя Sinamics, бесцентрошлифовального станка ф. Лидкопинг было выполнено в ремонтном подразделении на территории завода. Сотрудниками производства был получен со склада и разобран новый стандартный электродвигатель серии RA, производства Ярославского электромашиностроительного завода.

На данном двигателе стандартный задний подшипник был заменен на токоизолированный ф. FAG [39], передний подшипник российского производства заменен на импортный ф. “NSK”, а также был демонтирован пластиковый вентилятор принудительного охлаждения с нерабочей стороны вала.

В защитный кожух крыльчатки от электродвигателя с тормозом, взятого от списанного электродвигателя того же габарита, что и разбираемый двигатель, был закреплен, за счет применения болтового соединения, вентилятор ф. “Sunon” тип A2175-NBT [40]. Вентилятор подбирался исходя из того, что величина потока воздуха, необходимого для охлаждения двигателя RA 100 L2 составляет 0.04 м³/с или 144 м³/ч [28]. Выбранный вентилятор обеспечивает поток воздуха $V_b=230$ м³/ч при 2800 об/мин, с уровнем шума не более 51 dB, номинальный ток вентилятора не более 0,24 Ампера.

Установленный вентилятор работает от промышленной сети с напряжением 220V AC, подвод питания был выведен наружу через разъем российского производства типа ОНЦ, врезанный в корпус кожуха крыльчатки. Обе части разъема (“папа” – “мама”) взяты со списанного технологического оборудования.

Процесс разборки двигателя для замены на данном двигателе стандартных подшипников на импортные и на токоизолированные представлен на рисунке 46.

Доработка данного двигателя производилась силами специалистов участка централизованного ремонта электрических машин, расположенного на территории Механосборочных производств ПАО «АВТОВАЗ».

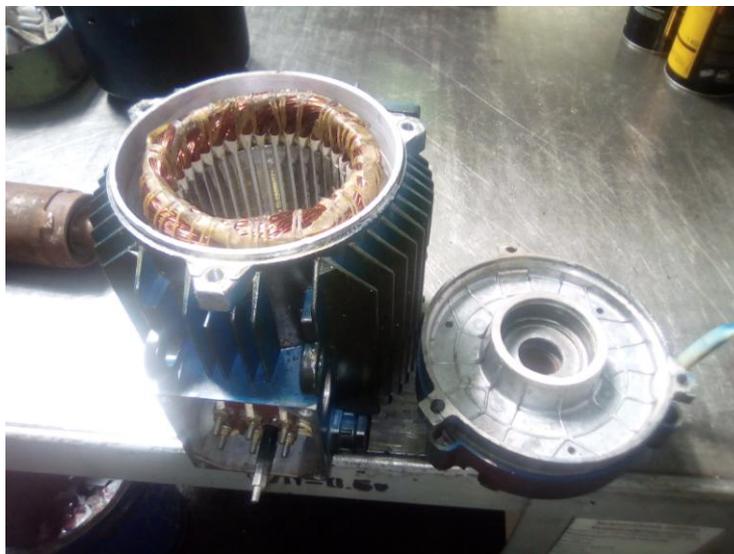


Рисунок 46 - Разборка асинхронного двигателя для замены подшипников
Внешний вид кожуха в сборе с вентилятором представлен на рисунке 47.



Рисунок 47 – Внешний вид кожуха с вентилятором

На доработку данного двигателя в условиях участка централизованного ремонта электрических машин, было затрачено 4 нормочаса рабочего

времени электрослесаря 5 разряда, при средней стоимости нормочаса его работы 180 рублей в час.

Стоимость использованных компонентов, взятая в системе АСУ “Ремонтообслуживание” АВТОВАЗа, составила: для вентилятора ф. ”Sunon” 640 рублей, метизов для крепления данного вентилятора менее 15 рублей. Кожух, от двигателя с вентилятором был взят со списанного электродвигателя, а разъемы для подключения вентилятора соответственно со списанного и демонтированного технологического оборудования, что означает, что и их стоимость в затратах может не учитываться.

Общая стоимость затрат на самостоятельное изменение системы вентиляции с IC 411 на IC 416 стандартного асинхронного двигателя составила около 1375 рублей.

Для сравнения цена закупки такого же готового узла независимой вентиляции, без учета затрат на логистику составляет у российских производителей [23] более 8000 рублей, а узлов произведенных в Европе более 200 Евро.

При этом стоимость двигателя с принудительной вентиляцией для совместной работы с частотнорегулируемым приводом и независимой вентиляцией, выпускаемым российскими электромашиностроительными заводами по сравнению с базовым двигателем серии RA будет в среднем на 45-60% больше. Это означает, что данное техническое решение является экономически обоснованным. Вариант самостоятельной доработки стандартных двигателей с целью установки на них дополнительных опций, таких как круговые датчики (энкодеры), системы принудительной вентиляции, токоизолирующие подшипники и другие дополнительные опции в условиях крупных производств является оптимальным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В магистерской работе было дано обоснование выбора стандартного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором для применения его в качестве двигателя, управляемого частотным преобразователем ф. Siemens серии Sinamics G120 для модернизации системы вращения ведущего круга бесцентрошлифовального станка с возможностью изменения системы охлаждения данного двигателя с IC 411 под принудительное охлаждение IC641.

На основе тахограммы рабочего механизма и нагрузочной диаграммы станка был произведен расчет параметров элементов системы нового электропривода, отвечающих необходимым требованиям. В соответствии с технологическими параметрами оборудования был произведен выбор электродвигателя серии RA100L2 3 кВт/ 2925 об/мин В5 (М301) и выбор типа модуля управления 6SL3244-0BB12-1FA0 и силового модуля 6SL3211-1PE18-0AL1. Разработана принципиальная электрическая схема подключения преобразователя на оборудовании для связи его с существующей системой управления станка и с учетом необходимости подключения вентилятора с измененной системы охлаждения двигателя и контроля его работы.

В качестве вентилятора охлаждения электродвигателя серии RA был применен электровентилятор ф. “Sunon”, смонтированный в защитный кожух крыльчатки от серийного двигателя с тормозом, со следующими техническими характеристиками: $U_{раб} = 220 \text{ В}$, $I_n = 0.24 \text{ А}$, $V_b = 230 \text{ м}^3/\text{час}$.

Результаты проведенной самостоятельной доработки системы вентиляции стандартного асинхронного двигателя, в условиях ремонтных производств промышленных предприятий, указывают на возможность использования таких двигателей в качестве электродвигателей для частотнорегулируемого привода металлообрабатывающих станков, а также учитывая область их применения и условия работы.

Список используемых источников

1. Кацман, М.М. Лабораторные работы по электрическим машинам и электрическому проводу: Учебное пособие / М.М. Кацман М.: Издательский центр «Академия», 2014 г. 256 с.
2. Мальц, Э.М. Электротехника и электрические машины/ Мальц, Э.М.: Корона век 2013 г. 304 с.
3. Усольцев, А.А. Электрические машины. Учебное пособие / Усольцев, А.А. Издательство: СПб: НИУ ИТМО, 2014 г 406 с.
4. Тимофеев, И.А. Основы электротехники, электроники и автоматики. Лабораторный практикум. / И.А. Тимофеев. СПб.: Лань, 2016. 196 с.
5. Черепяхин, А.А. Электротехническое и конструкционное материаловедение. / А.А. Черепяхин, Т.И. Балькова, А.А. Смолькин. М.: Феникс, 2017. 349 с.
6. Денисов, В.А. Теория и переходные процессы электромагнитных устройств и электромеханических преобразователей энергии: - электронное учебное пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2014. 162 с.
7. Гольдберг, О.Д. Инженерное проектирование электрических машин. Учебник для вузов (для бакалавров и магистров) / О.Д. Гольдберг, Л. Н. Макаров, С. П. Хелемская. М.: ООО ИД БАСТЕТ, 2016. 528 с.
8. Гольдберг, О.Д. Проектирование электрических машин. / О. Д. Гольдберг, Я. С. Гурин, И. С. Свириденко. – М.: Высшая школа, 2014. 430 с.
9. Богодухов С.И. Материаловедение и технологические процессы в машиностроении: учебное пособие. / Богодухов С.И., Проскурин А.Д., Сулейманов Р.М., Схиртладзе А.Г. Старый Оскол: ТНТ, 2013. 560 с.
10. Шевченко В.В., Ревенко И.В. Система диагностики работоспособности режущего инструмента при обработке деталей в условиях автоматизированного производства // Новый университет. Сер. Технические науки. 2014. № 1. С. 10-12

11. Никитенко Г. В. Электропривод производственных механизмов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Г. В. Никитенко. - Изд. 2-е, испр. и доп. - Санкт-Петербург : Лань, 2013. - 224 с.
12. Лыкин, А.В. Электроэнергетические системы и сети. Учебник для вузов. / А.В. Лыкин. М.: Юрайт, 2017. 360 с.
13. Махнев П.С. Анализ технических устройств бесцентрошлифовального автоматического станка. // Сборник статей Международной научно-практической конференции “Физико-математические и технические науки как постиндустриальный фундамент эволюции информационного общества”, Самара, 25 марта 2018, С.67-70.
14. Махнев П.С. Работа асинхронных двигателей с регулируемой частотой вращения. // Сборник статей Международной научно-практической конференции “Методы проектирования и оптимизации технологических процессов”, Новосибирск, 11 марта 2018, С. 22-25.
15. Махнев П.С. Выбор асинхронного электродвигателя для бесцентрошлифовального станка // Сборник статей Международной научно-практической конференции “Методы проектирования и оптимизации технологических процессов”, Самара, 25 марта 2018, С .63-67.
16. Алиев, И.И. Электротехника и электрооборудование. В трех частях. Часть 1. Учебное пособие для СПО / И.И. Алиев. – М.: Юрайт, 2017. 374 с.
17. Мелешин, В. И. Управление транзисторными преобразователями электроэнергии / В. И. Мелешин, Д. А. Овчинников – Москва: «Техносфера», 2015. 576 с
18. Курбанов, С.А. Основы электропривода: Учебное пособие / С.А. Курбанов, Д.С. Магомедова. - СПб.: Лань П, 2016. 192 с.
19. Якуничева, О.Н. Проектирование электропривода промышленных механизмов: Учебное пособие / О.Н. Якуничева, А.П. Прокофьева. - СПб.: Лань, 2014. 448 с.

20. Анучин, А.С. Системы управления электроприводов / А.С. Анучин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 373 с.
21. Яни, А.В. Регулируемый асинхронный электропривод: Учебное пособие / А.В. Яни. - СПб.: Лань, 2016. 464 с.
22. Электродвигатели АДЧР асинхронные низковольтные с короткозамкнутым ротором для частотного регулирования двигателей [электронный ресурс]. – URL: http://www.sopteh.ru/assets/files/34/catalog_adchr.pdf (Дата обращения: 21.05.2018)
23. Узлы независимой вентиляции для АДЧР двигателей [электронный ресурс]. – URL: <http://xn----7sbbffefbe1atki9a3alvh4hqeg.xn--p1ai/ventilation> (Дата обращения: 21.05.2018)
24. SINAMICS G120 CU230P-2 Control Units List Manual (LH9), 04/2014, A5E33838102B AA [электронный ресурс]. – URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/691/99683691/att_77841/v1/G120_CU230P-2_List_Manual_LH9_0414_eng.pdf (Дата обращения: 23.05.2018).
25. Справочник по параметрированию SINAMICS G120 Управляющие модули CU240B-2 Управляющие модули CU240E-2 [электронный ресурс] –URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/596/59745596/att_77644/v1/LH11_0112_rus.pdf (Дата обращения: 24.05.2018).
26. SINAMICS G120 Учебная брошюра, V2.0 [электронный ресурс] –URL: http://en-res.ru/wp-content/uploads/2012/11/Siemens_Sinamics_G120_obuchenie.pdf (Дата обращения: 24.05.2018).
27. Технический каталог электродвигателей - Владимирский электромашиностроительный завод [электронный ресурс]. – URL: http://www.vemp.ru/pdf/Katalog_VEMZ_2008.pdf (Дата обращения: 23.05.2018).
28. Технический катало электродвигателей ELDIN [электронный ресурс]. –

- URL: <http://www.ad4r.ru/catalog/?base=6> (Дата обращения: 23.05.2018).
29. SINAMICS G120 Power Module PM240 [электронный ресурс]. – URL: <https://inverterdrive.com/file/Siemens-Sinamics-G120-PM240-Power-Module-Manual> (Дата обращения: 25.05.2018).
30. SIEMENS STARTER [электронный ресурс]. – URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/products?dtp=Download&mf=ps&pnid=13437&lc=en-WW> (Дата обращения: 25.05.2018).
31. SIEMENS SIZER [электронный ресурс]. – URL: <http://www.siemens.com/sizer> (Дата обращения: 25.05.2018).
32. SINAMICS G120 Catalog [электронный ресурс]. – URL: <http://www.siemens.ru/sinamics-g120> (Дата обращения: 25.05.2018).
33. SINAMICS G120 Frequency inverter [электронный ресурс]. – URL: <https://w3app.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentcenter/mc/InfocenterLanguagePacks/SINAMICS%20G120%20The%20modular%20frequency%20converter/E80001-A400-P210-V5-5600.pdf> – (Дата обращения: 25.05.2018).
34. Michael Geier. How to Diagnose and Fix Everything Electronic. / Michael Jay Geier. – Second Edition – New York, N.Y.: McGraw-Hill Education, 2016.
35. Matthew Scarpino. Motors for Makers: A Guide to Steppers, Servos, and Other Electrical Machines. / Matthew Scarpino. – 1st Edition - USA: Pearson Education, 2016.
36. Md. Ruhul Amin. Electrical Power System Analysis. / Md. Ruhul Amin, Rajib Baran Roy. - Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2015 – 136 p.
37. An Asynchronous Electric Drive with the Indirect Control of the Output Variables/ [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/abs/2017/05/mateconf_smart2017_01039/mateconf_smart2017_01039.html Published 14 Juny 2015
38. P.P. Hilman Current topics in electrical and electronics engineering science - LAP Lambert Academic Publishing - 2014 - 60c

39.FAG catalog [Электронный ресурс]. – URL:
http://www.podshipnik.ru/docs/fag_current_opt.pdf – (Дата обращения:
25.05.2018).

40.Sunon Fan and Blower [Электронный ресурс]. – URL:
<http://www.sunonusa.com/ac-fan-blower/>– (Дата обращения: 25.05.2018).