

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В НЕЗАВИСИМЫХ ПРИВОДАХ МАШИНЫ БЕЗОГНЕВОЙ РЕЗКИ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА**

*В.М. Сандалов, Е.А. Полуэктов, Т.Р. Хазиев*

Описаны вентильные двигатели независимых приводов машины. Обоснована целесообразность применения двигателей в системе управления независимыми приводами.

Ключевые слова: вентильный двигатель; электромеханический преобразователь; датчик положения ротора; независимые приводы подачи.

В современных тенденциях развития нефтепроводов наблюдается увеличение их пропускной способности, что приводит к росту давления в трубопроводе и как следствие увеличению толщин труб и использование высокопрочных материалов с пределом прочности свыше  $60\text{кг/мм}^2$  (такие трубы используются на нефтепроводе «Восточная Сибирь – Тихий океан»). При строительстве и ремонте таких магистральных трубопроводов используются машины для безогневой резки труб большого диаметра (далее МРТ) [1, 2]. К конструкциям этих машин предъявляются достаточно жесткие требования: они должны быть высоконадежными, иметь минимальную стоимость, быть простыми в обслуживании, допускать эксплуатацию в сложных климатических условиях, обеспечивать резку труб в широком диапазоне диаметров. От надёжности и производительности МРТ существенно зависит время и стоимость ремонта трубопровода.

Установленные зависимости изменения нагрузки с течением времени при резке труб разного диаметра и толщины [3] позволяют проанализировать нагруженность приводов. Следующим этапом при проектировании независимых приводов подачи является выбор электродвигателей.

Для привода подачи врезания и круговой подачи машины «Волжанка 4» рекомендован к применению вентильный управляемый двигатель серии ДВМ – 100, разработанный кафедрой ЭАПП, общий вид которого представлен на рисунке 1.

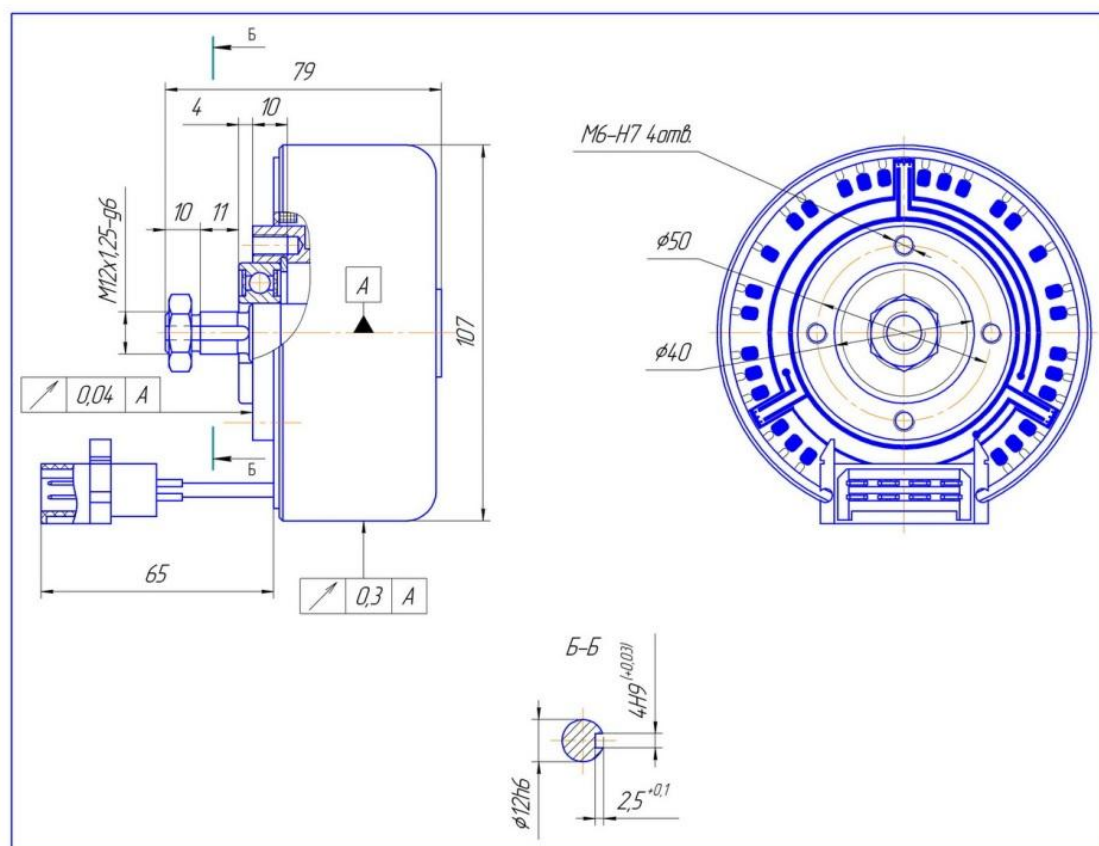


Рис. 1. Общий вид двигателя серии ДВМ – 100

Вентильный двигатель ДВМ – 100 имеет высокие эксплуатационные характеристики, выпускается серийно и используется в приводах дверей и дисковых тормозов трамваев, солнечных батарей и т.д.

Двигатель вентильный моментный ДВМ – 100 предназначен для вращения, поворота и удержания механической нагрузки на выходном валу. Имеет встроенный датчик положения ротора, набранный из трех микросхем Холла TLE4935L. Наружный ротор двигателя выполнен в виде стакана, на внутренней поверхности которого закреплены редкоземельные магниты. Внутри ротора расположен статор с трехфазной обмоткой, соединенной в звезду. Двигатель снабжен валом и подшипниками, но не имеет собственного корпуса. Устанавливается в механизмы со степенью защиты не ниже IP54.

Двигатель выдерживает двукратное превышение момента в течение 1 минуты. Сохраняет свою работоспособность в диапазоне температур окружающей среды  $\pm 40$  °С. Исполнение выходного вала и тип электрического разъема согласуются с заказчиком.

В состав схемы вентильного двигателя (ВД) входят следующие основные узлы:

- электромеханический преобразователь (ЭМП);
- датчик положения ротора (ДПР);
- полупроводниковый коммутатор (ПК).

Структурная схема вентильного двигателя представлена на рисунке 2.

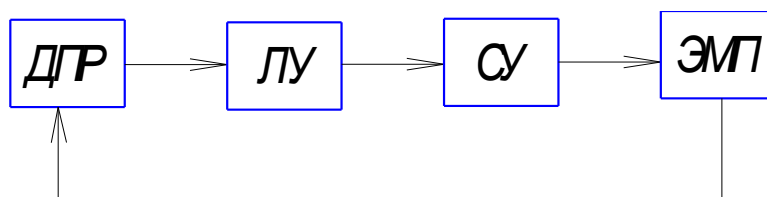


Рис. 2. Структурная схема вентильного двигателя:  
ДПР – датчик положения ротора;  
ЛУ – логическое устройство;  
СУ – система управления;  
ЭМП – электрохимический преобразователь

ЭМП представляет собой синхронную машину с возбуждением от постоянных магнитов на роторе и секционированной обмоткой якоря на статоре. Принцип действия ВД соответствует принципу действия классического двигателя постоянного тока независимого возбуждения: при повороте ротора к источнику питания подключаются те секции обмотки якоря, пропускать ток через которые, с точки зрения создания вращающего момента, наиболее выгодно. Отличие сводится к способу питания секций якоря: в классическом двигателе постоянного тока роль коммутирующего элемента выполняет щеточно-коллекторный узел, коммутация секций ВД обеспечивается ПК в зависимости от положения ротора, определяемого ДПР.

Функциональная схема четырехсекционного вентильного двигателя с нереверсивным питанием силовых обмоток и дискретным ДПР на базе элементов Холла, представлена на рисунке 3. В состав схемы входят: ЭМП с обмоткой LM, состоящей из отдельных секций LM1...LM4 на статоре и возбуждением от постоянных магнитов ротора, силовой инвертор (СИ), логическое устройство и ДПР на базе двух элементов Холла ДХ1 и ДХ2. Питание двигателя осуществляется от внешнего источника постоянного напряжения G.

Взаимодействие полей статора и ротора создает вращающий момент двигателя, ротор поворачивается, что вызывает очередное переключение ДПР, и цикл повторяется.

По способу соединения фазных обмоток ВД между собой возможны три варианта: в «звезду» – разомкнутая обмотка (РО), в «кольцо» – замкнутая (ЗО), с независимым подключением – гальванически развязанные фазы (ГР). Наиболее часто применяется разомкнутая обмотка, реже – гальванически развязанные фазы, требующие большого количества силовых ключей. Замкнутая обмотка в ВД используется редко из-за повышенного тока через ключи СИ.

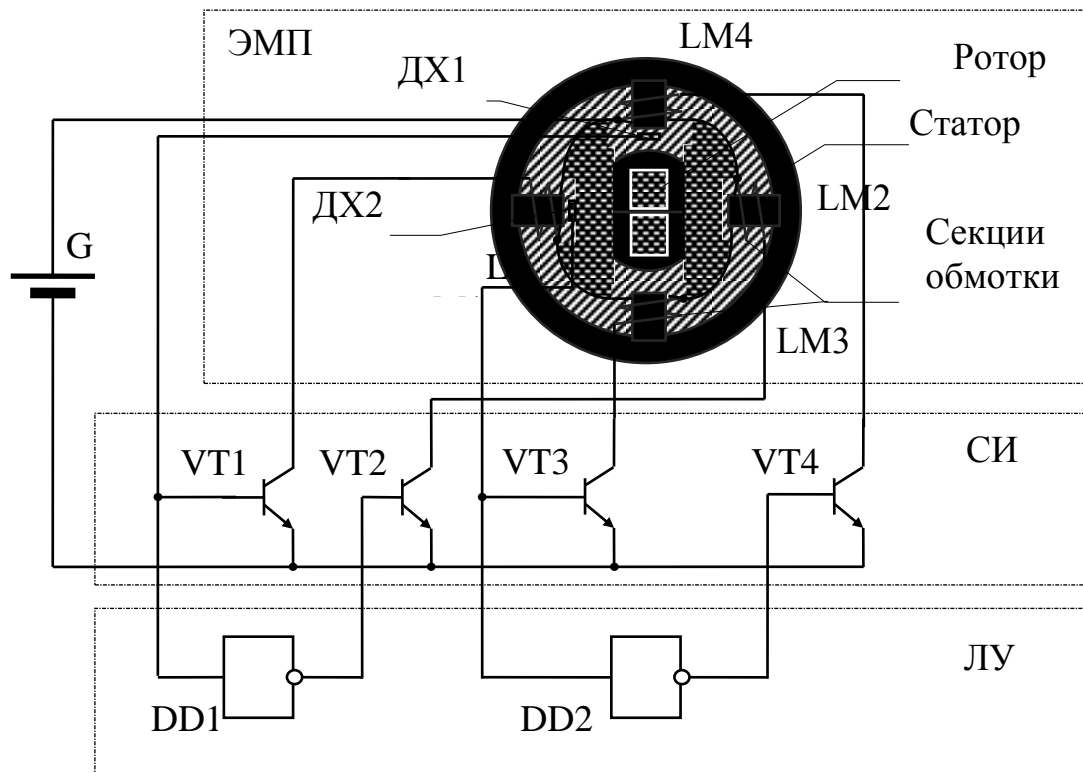


Рис. 3. Функциональная схема вентильного двигателя

В двигателе обмотки сдвинуты относительно друг друга на  $120^\circ$ . Применяется реверсивная схема пульсации момента за счёт дискретной коммутации. Возможна вариация параметров двигателя за счёт изменения параметров обмоток.

Алгоритм коммутации определяет очередность и комбинацию подключения фаз к источнику питания.

При реверсивном питании полная коммутация соответствует подключению к источнику в любой момент времени всех фаз, а любое переключение сводится к реверсу питания одной фазы при нечетном и двух фаз при четном числе фаз. Варианты организации неполной коммутации, предусматривающей отключение от источника питания некоторого числа фаз, более разнообразны. В частности, возможен симметричный алгоритм, когда на каждом такте число фаз, подключенных к источнику питания, сохраняется и несимметричный, с изменением числа включенных фаз. Последний, более сложный алгоритм, требует увеличения числа элементов ДПР и ЛУ.

Способ питания, алгоритм коммутации и число фаз двигателя при использовании позиционной коммутации, когда на выходах ДПР формируются логические сигналы, определяют число тактов коммутации, то есть количество дискретных положений вектора поля якоря на электрический оборот ротора. При симметричном расположении фаз, неревверсивном пи-

тании и симметричном алгоритме коммутации число тактов определяется числом фаз. Число тактов удваивается в случае реверсивного питания при нечетном числе фаз. Дополнительно удвоить число тактов можно за счет перехода к некоторым несимметричным алгоритмам коммутации.

На энергетические и моментные характеристики ВД значительно влияет угол коммутации – фазовый сдвиг между первой гармоникой фазного напряжения и первой гармоникой фазной ЭДС вращения. Нулевой сдвиг соответствует нейтральной коммутации, положительный – опережающей, отрицательный – отстающей или запаздывающей. Опережающая коммутация часто позволяет увеличить момент двигателя, а нейтральная обычно соответствует максимуму КПД. Оптимизация угла коммутации достигается соответствующим смещением чувствительных элементов ДПР относительно оси фазы.

На рисунке 4 представлена механическая характеристика ДВМ-100.

Двигатель вентильный моментный ДВМ-100 трехфазный, 26-полюсный, обращенной конструкции. На неподвижном статоре 1 двигателя размещена секционная обмотка якоря 2, состоящая из 24-х катушек. Схема соединения обмотки – звезда с нейтральным выводом. Посадка статора на вал производится с помощью подшипников качения 3.

Ротор двигателя 4 с расположенными на нем 26-ю постоянными магнитами 5 имеет чашеобразную форму, выполнен за одно целое с валом. Конструкция ротора неявнополюсная, радиальная. Материал магнитов – самарий-кобальт.

На статоре в пазах катушек расположены три датчиков положения ротора 6, выполненные на кристаллах Холла, на расстоянии  $30^\circ$  друг от друга. Кроме того, на статоре расположена печатная плата блока управления 7, которая содержит выводы 8 фаз, датчиков положения ротора. Для крепления двигателя на статоре предусмотрен посадочный фланец 9 с четырьмя отверстиями М6.

На базе ВД ДВМ-100 возможна реализация трех, четырех, шести и двенадцати фазных машин. Соответственно изменяется число ДПР и обмоток.

Сопrotивление фазы обмотки ДВМ-100 складывается из 8 катушек двигателя, а сопротивления якоря обмотки ДВМ-100 складывается из двух фаз двигателя.

На рисунке 5 представлен сборочный чертеж двигателя ДВМ-100.

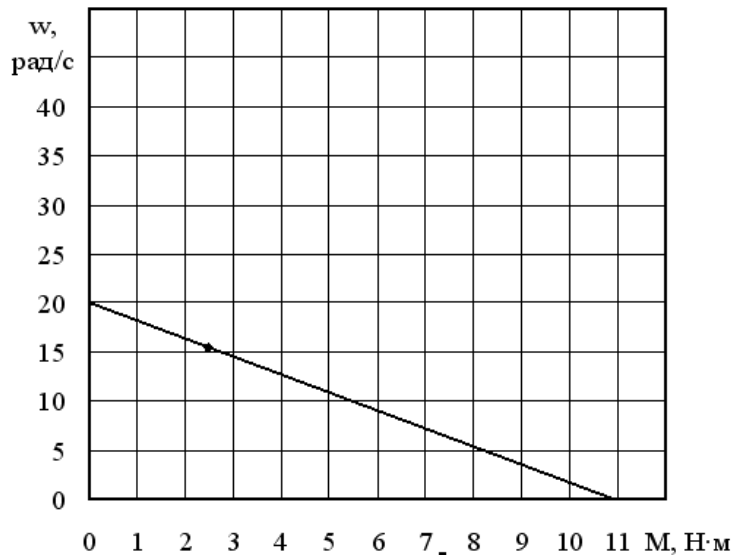


Рис. 4. Механическая характеристика ДВМ-100

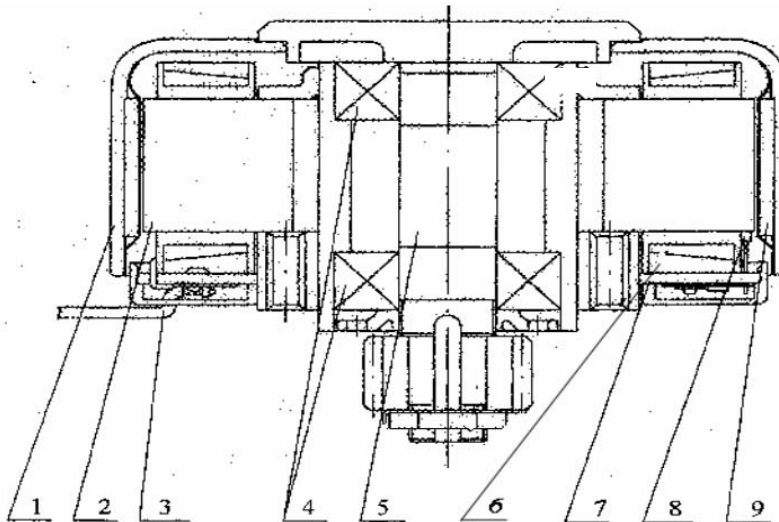


Рис. 5. Сборочный чертеж вентильного двигателя ДВМ-100

Одним из важнейших функциональных элементов схемы ВД является ДПР. ДПР в виде отдельного конструктивного элемента может быть реализован на базе индуктивных, фотоэлектрических и гальваномагнитных чувствительных элементов. Одна из разновидностей последних датчиков, интегральные микросхемы на основе эффекта Холла, используется в ВД наиболее часто. Преимуществами датчиков Холла являются высокая чувствительность, малые габариты, позволяющие размещать датчики непосредственно в пазах двигателя, что, в свою очередь, исключает необходимость настройки датчиков.

По расчетным данным приводов врезки и подачи на механической характеристике двигателя ДВМ – 100 указываются точки номинальных режимов работы электродвигателей: значения угловой скорости и момента.

Механическая характеристика вентильного управляемого двигателя представляет собой прямую линию. Построение характеристики производится по двум точкам: угловой скорости идеального холостого хода, соответствующей моменту равному нулю, и угловой скорости, соответствующей номинальному моменту.

Для построения механической характеристики двигателя ДВМ – 100 используются паспортные данные двигателя, представленные в таблице.

Таблица

Паспортные данные двигателя ДВМ – 100

Параметры	Значение
Напряжение номинальное, В	24
Мощность номинальная, Вт	50
Ток номинальный, А	2,4
Момент номинальный, Н·м	2,3
Скорость номинальная, рад/с	19
Число пар полюсов	13
Сопротивление обмоток $R_{об}$ , Ом	1,547
Индуктивность обмоток $L_{об}$ , мГн	4,541
Момент инерции $J$ , кг·м <sup>2</sup>	0,00049
Габаритные размеры, мм	107×107×80

Механическая характеристика двигателя ДВМ – 100 приводов врезки и подачи представлена на рисунке 6.

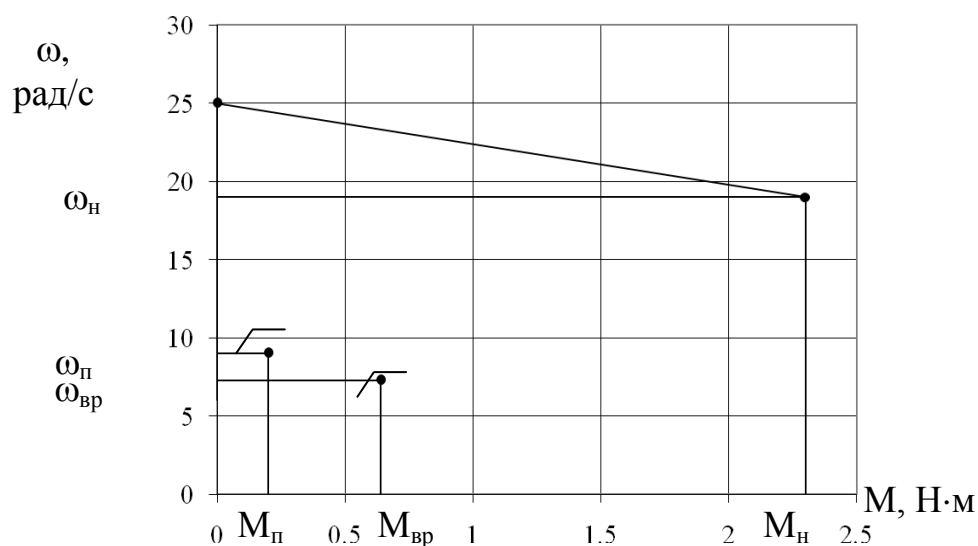


Рис. 6. Механическая характеристика двигателя ДВМ – 100:

- 1 – точка номинального режима работы двигателя привода врезки;
- 2 – точка номинального режима работы двигателя привода подачи

Номинальный режим работы двигателя ДВМ – 100 отличается от расчетных номинальных режимов работы двигателей приводов врезки и подачи значительным запасом: двукратным по угловой скорости и четырехкратным по моменту. Запас по скорости для привода врезки позволяет возвращать фрезу в исходное состояние на повышенной скорости. Надежность работы, обусловленная значительным запасом, позволяет использовать данный двигатель в жестких условиях крайнего севера. Благодаря разработанной схеме управления вентильным двигателем, существует возможность обеспечить номинальный режим работы в требуемых точках, регулированием частоты вращения и тока (момента) двигателя.

#### Библиографический список

1. Грешняев, В.А. Машина для безогневой резки труб «Волжанка – 3М» / В.А. Грешняев // Трубопроводный транспорт нефти. – 2009. – № 8. – С. 18–20.
2. Патент на полезную модель 94497 Российская Федерация, МПК В 23 D21/06. Устройство для резки труб/ Б.А. Лопатин, Д.Б. Лопатин, Е.А. Полуэктов, Т.Р. Хазиев. – № 2010104653/22; заявл. 10.02.2010; опубл. 27.05.2010 Бюл. № 15. – 3 с.
3. Лопатин, Б.А., Исследование нагруженности приводов подач машины для безогневой резки труб большого диаметра / Б.А. Лопатин, Т.Р. Хазиев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2013. – Т. 13. – № 1. – С. 8.