

# Моделирование аппарата воздушного охлаждения

Л. П. Козлова

Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет «ЛЭТИ»  
им. В.И.Ульянова (Ленина)  
tigrenok59@mail.ru

О. А. Козлова

Санкт-Петербургский государственный университет  
телекоммуникаций  
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича  
k\_olga\_a@mail.ru

**Аннотация.** Электропривода потребляют более 60 % вырабатываемой энергии, поэтому энергосбережение на современном этапе является актуальной задачей. В составе аппарата воздушного охлаждения используется нерегулируемый асинхронный электропривод с прямым пуском. Увеличение количества пусков электродвигателя вызвано регулированием расхода воздуха изменением положения лопастей вентилятора.

**Ключевые слова:** аппарат воздушного охлаждения; модель; энергосбережение; асинхронный электропривод; вентилятор

## I. ВВЕДЕНИЕ

Аппараты воздушного охлаждения (АВО) (рис. 1) широко применяется в химической, металлургической и нефтехимической промышленности, электроэнергетике, пищевой промышленности и других отраслях. Их устройство принципиально не отличается от классической архитектуры теплообменного аппарата: охлаждаемое вещество проходит по трубам, а трубы размещены в потоке рабочего тела, которым является воздух. Охлаждаемая среда движается внутри биметаллических труб с ребрами, рабочее тело нагнетается вентилятором.

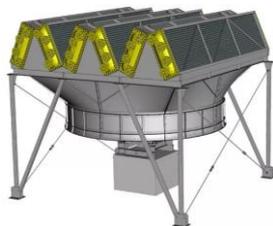


Рис. 1. Аппарат воздушного охлаждения

Увеличение энергоэффективности вентиляторов, снижение потребляемой ими мощности в совокупности с рациональным их использованием в системах является весьма актуальной проблемой.

30 марта 2011 г. Европейская комиссия приняла Регламент № 327/2011 по реализации Директивы 2009/125/ЕС Европейского парламента и Совета, устанавливающий требования к экологическому проектированию вентиляторов с приводом мощностью от

125 Вт до 500 кВт. В зависимости от аэродинамических характеристик вентилятора выделены два уровня требований к минимальному значению энергоэффективности.

В настоящее время действует международный стандарт МЭК 60034-30:2008 "Машины электрические вращающиеся. Часть 30. Классы энергоэффективности односкоростных трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (код IE)", на базе которого разработан ГОСТ Р 54413-2011, в котором для асинхронных трехфазных короткозамкнутых двигателей с номинальной частотой питающей сети 50 Гц введены три класса энергоэффективности: нормальный (код IE1), повышенный (код IE2) и премиум (код IE3). В качестве параметра энергоэффективности рассматривается номинальный КПД двигателя [1].

Из стандарта IEC 60034-30 исключены следующие двигатели:

- Двигатели, предназначенные для работы только от преобразователя частоты.
- Двигатели, интегрированные в оборудование (например, насос, вентилятор или компрессор), когда испытание двигателя отдельно от оборудования невозможно.

## II. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для вентиляторов АВО применяются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором с режимом работы S1.

Для продолжительного режима работы при нагрузке  $P_n$  производственного механизма и коэффициенте полезного действия  $\eta_n$  потребляемая мощность двигателя  $P$  определяется по формуле по формуле:

$$P = \frac{P_n}{\eta_n}.$$

Для вентилятора, работающего в продолжительном режиме, мощность двигателя определяется по формуле:

$$P_d = \frac{V \cdot H}{\eta_b \cdot \eta_d \cdot \eta_n},$$

где  $P_d$  – мощность двигателя, Вт;  $V$  – номинальная производительность вентилятора, м<sup>3</sup>/с;  $H$  – номинальный напор вентилятора, Па;  $\eta_b$  – КПД вентилятора;  $\eta_d$  – КПД двигателя;  $\eta_n = 1$  – КПД передачи.

Системы автоматического регулирования электроприводов с векторным управлением реализуют вычислительные алгоритмы в системе координат, которая ориентируется по конкретному вектору потокосцепления (статора, ротора или основного потока) машины [2]. Обычно используют структуры с поддержанием постоянства потокосцепления ротора. Они наиболее просты в реализации и обладают наилучшими характеристиками.

### III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования выполнены для двигателя с параметрами, приведенными в таблице 1.

ТАБЛИЦА I ПАРАМЕТРЫ ДВИГАТЕЛЯ

Название	Значение
Мощность двигателя, кВт	37
Номинальное напряжение, В	380
Номинальный ток, А	81,8
Частота, Гц	50
Скорость вращения двигателя, об/мин	428,6
КПД	0,905
Коэффициент мощности	0,76
Кратность пускового момента	0,8
Кратность максимального момента	2,0
Кратность пускового тока	5,5
Момент инерции, кг·м <sup>2</sup>	11,3
Скольжение, %	1,7

Структурная схема асинхронного двигателя приведена на рис. 2.

Параметры схемы (рис. 2) в относительных единицах: активные сопротивления статора и ротора:  $R_1' = 0,037$ ,  $R_2' = 0,033$ ; индуктивное сопротивление намагничивающего контура  $x_m' = 2,1$ ; индуктивные сопротивления рассеяния статора и ротора:  $x_{1\sigma}' = 0,14$ ,  $x_{2\sigma}' = 0,19$ .

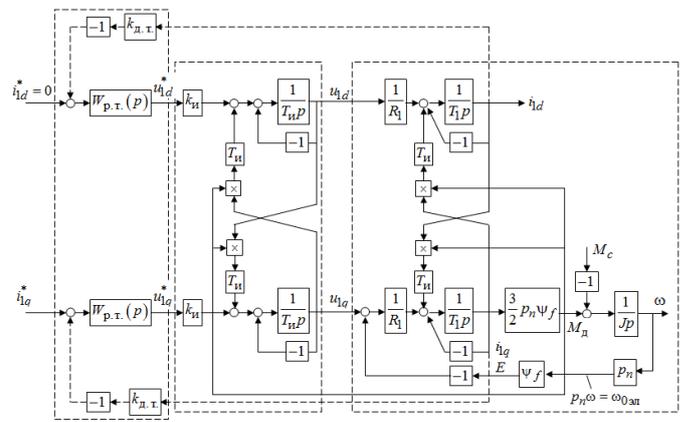


Рис. 2. Структурная схема исследуемой модели

Для перехода к абсолютным единицам эти значения надо умножить на базовое сопротивление

$$Z_0 = \frac{U_n}{I_n} = \frac{380}{81,8} = 4,645 \text{ Ом.}$$

Тогда  $R_1 = 0,1$  Ом;  $R_2 = 0,09$  Ом;  $x_m = 5,65$  Ом;  $x_{1\sigma} = 0,38$  Ом;  $x_{2\sigma} = 0,51$  Ом;  $x_1 = x_m + x_{1\sigma} = 6,03$  Ом;  $x_2 = x_m + x_{2\sigma} = 6,16$  Ом.

Индуктивные сопротивления рассчитаны при номинальной частоте. Поэтому для определения индуктивностей надо значения индуктивных сопротивлений поделить на значение номинальной угловой частоты  $\omega_{0эл}$ , таким образом:  $L_m = 0,018$  Гн;  $L_1 = 0,017$  Гн;  $L_2 = 0,0175$  Гн.

Постоянная времени фазы обмотки статора  $T_1 = \frac{L_1}{R_1} = 0,192$  с; постоянная времени фазы обмотки ротора  $T_2 = \frac{L_2}{R_2} = 0,218$  с.

Коэффициент рассеяния машины  $\sigma = 1 - k_1 \cdot k_2 = 0,1406$ , где  $k_1 = 0,937$ ;  $k_2 = 0,917$ .

Математическая модель системы регулирования скорости в MatLab Simulink представлена на рис. 3.

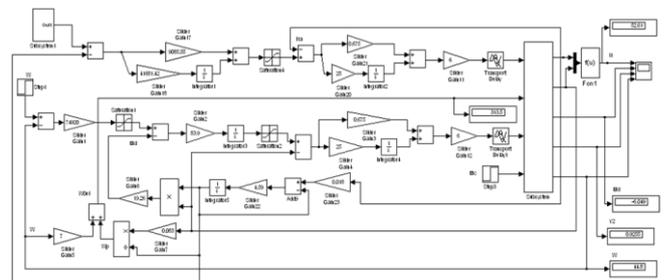


Рис. 3. Математическая модель системы регулирования скорости

На рис. 4 представлены результаты моделирования тока, потокосцепления, момента и скорости соответственно, где а) полное изображение; б) масштабируемый участок.

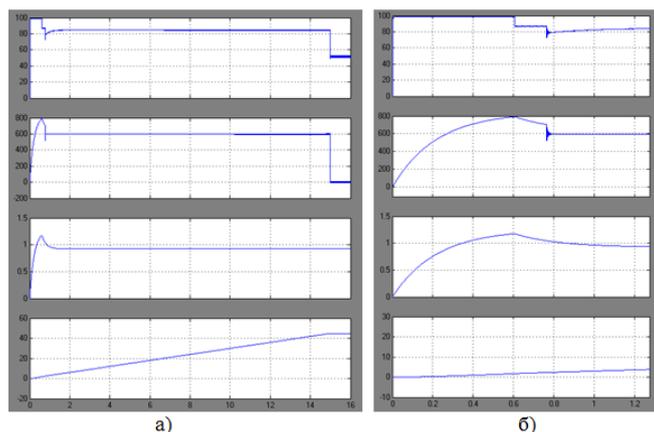


Рис. 4. Результаты моделирования

Из графиков (рис. 4) видно, что пусковой ток двигателя  $I_{\text{п}} \approx 100$  А, который не должен превышать значение максимального выходного тока преобразователя  $I_{\text{max}} = 112$  А; максимальный момент двигателя  $M_{\text{дв max}} \approx 800$  Н·м не превышает максимально допустимого момента двигателя.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренная модель векторного управления электроприводом с асинхронным двигателем является наиболее простой. Она позволяет создавать высокоэффективные системы управляемого асинхронного электропривода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ГОСТ 31961-2012 Вентиляторы промышленные. Показатели энергоэффективности. М.: Стандартинформ, 2014. 15 с.
- [2] Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. М.: Академия, 2006. 264 с.