

## **Лекция 3 Основы рационального выбора и использования электрооборудования**

---

1. Общие сведения по основам рационального выбора и использования электрооборудования.
2. Выбор электрооборудования по техническим параметрам.
3. Выбор электрооборудования по экономическим критериям.
4. Выбор типа защиты электрооборудования.

## ***1. Общие сведения по основам рационального выбора и использования электрооборудования.***

---

Правильный выбор электрооборудования - необходимое условие его успешной эксплуатации. При проектировании комплексной электрификации сельского хозяйства электрооборудование выбирают исходя из требований его качественного функционирования и наименьших затрат на электрифицированный объект. Однако по некоторым причинам это не всегда обеспечивает высокую эффективность эксплуатации выбранного электрооборудования.

**Методика выбора оборудования** в общем случае заключается в определении фактических данных о качестве электроснабжения, режиме работы и других условиях эксплуатации и сопоставления этих данных с параметрами электрооборудования. Решение о выборе принимают **по принципу** ограничения или оптимизации.

*Принцип ограничения* состоит в том, что электрооборудование считают пригодным, если номинальные значения его параметров больше или равны (для некоторых параметров - меньше или равны) фактическим значениям соответствующих величин при эксплуатации. Например, асинхронный электродвигатель выбирают по мощности на основании условия  $P_n > P_f$ , где  $P_n$ ,  $P_f$  - номинальное и фактическое значения мощности выбранного электродвигателя.

*Принцип оптимизации* основан на изучении вариантов возможных решений и выборе такого электрооборудования, которое обеспечивает наилучший результат электрификации объекта или процесса. При этом критерием оптимальности могут быть технические параметры и экономические критерии.

## ***2. Выбор электрооборудования по техническим параметрам.***

---

Основные технические характеристики, учитываемые при выборе электрооборудования: климатическое исполнение и категория размещения; степень защищенности от попадания посторонних предметов и влаги; номинальные параметры (напряжение, ток, мощность, частота вращения и т. д.); дополнительные параметры (пусковые свойства, перегрузочная способность, защитные характеристики и т. д.).

**Выбор по климатическому исполнению и категории размещения.** Электротехнические изделия, выпускаемые промышленностью, предназначены для использования в определенном климатическом районе и в определенном месте размещения, в зависимости от их исполнения.

Изделия, предназначенные для эксплуатации на суше, реках и

озерах, имеют следующие *климатические исполнения*: У — с умеренным климатом; ХЛ — с холодным климатом; ТВ — с влажным тропическим климатом; ТС — с сухим тропическим климатом; Т — с влажным и с сухим тропическим климатом; О — общеклиматическое исполнение.

Для обеспечения надежной работы в особых производственных условиях выпускают электрооборудование сельскохозяйственного (С) и химостойкого (Х) исполнения.

**Категории размещения** электрооборудования обозначают следующими цифрами:

- 1 - для работы на открытом воздухе;
- 2 - для работы в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе, например в палатках, кузовах, прицепах, металлических помещениях без теплоизоляции, а также в кожухе комплектного устройства категории 1 или под навесом (отсутствие прямого воздействия солнечной радиации и атмосферных осадков на изделие);
- 3 - для работы в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, где колебания температуры и влажности воздуха, воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе;
- 4 - для работы в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями;
- 5 - для работы в помещениях с повышенной влажностью.

**Выбор по степени защиты.** Степень защиты от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри корпуса электротехнических изделий, от попадания посторонних предметов и проникновения в корпус влаги в соответствии с ГОСТ 14254-96 условно характеризуют буквами IP и двумя цифрами (например, IP23, IP54 и т. п.). Эти обозначения проставляют на корпусах изделий или на табличках с паспортными данными.

Первая цифра после IP обозначает степень защиты от соприкосновения персонала с движущимися частями оборудования и от попадания внутрь его твердых посторонних тел. Вторая цифра обозначает степень защиты оборудования от проникновения внутрь корпуса воды.

Электротехнические изделия сельскохозяйственного назначения согласно ГОСТ 19348-82 должны иметь степень защиты IP23, IP30, IP31, IP41, IP44, IP51, IP54 и IP55. Кожухи вентиляторов охлаждения электродвигателей должны иметь степень защиты не ниже IP20. *Рекомендации для выбора электрооборудования по условиям окружающей*

среды регламентированы в руководящих технических материалах РТМ 105/23/46/70/16-0-153-81.

**Выбор по напряжению.** В сельском хозяйстве в основном применяют трехфазный переменный ток напряжением 380/220 В. Все электроприемники выбирают из условия равенства напряжения (номинального и сети). В отдельных случаях для облегчения пуска двигателя схему обмоток переключают со звезды на треугольник и для этих целей выбирают двигатель с номинальным напряжением 660/380 В.

**Выбор по мощности или току.** Электродвигатели выбирают из условия равенства его номинальной мощности  $P_{н.дв}$  и мощности, потребляемой рабочей машиной или рабочим органом машины,  $P_m$ . Решающее значение при этом имеет характер нагрузочной диаграммы электропривода.

При длительной неизменной нагрузке двигатель выбирают по фактической потребляемой мощности; при мало изменяющейся во времени нагрузке, имеющей коэффициент вариации менее 20 %, двигатель выбирают по средней мощности; при переменной нагрузке - по расчетной эквивалентной мощности, т. е. такой постоянной мощности, которая эквивалентна фактической переменной по нагреву двигателя (этому условию удовлетворяет среднеквадратичная мощность).

Зная расчетную мощность машины ( $P_{рм}$ ) (фактическую, среднюю или среднеквадратичную), по каталогу выбирают электродвигатель стандартной мощности ( $P_{нлв}$ ), имеющий мощность, ближайшую большую по сравнению с расчетной. В общем случае условие выбора имеет вид  $P_{н.дв} > P_{р.м}$ . Выбранный двигатель проверяют на перегрузочную способность, на возможность пуска, по частоте пусковых операций.

Электрические аппараты (рубильники, автоматические выключатели и магнитные пускатели) выбирают по току главных контактов из условия:  $I_{Hi} \geq I_{раб}$  где  $I_{Hi}$  - номинальный ток  $i$ -го аппарата;

$I_{раб}$  - рабочий ток коммутируемой цепи.

Кроме этого, аппараты выбирают по току устройств защиты из условия  $I_{н.зи} \geq k_i I_{раб}$ , где  $k_i$  - отношение номинального тока плавкой вставки или уставки защиты к рабочему току защищаемой цепи.

Электронагревательные установки (ЭНУ) выбирают по мощности из условия  $P_{н.эну} \geq P_{рэну}$ , где  $P_{н.эну}$  - номинальная мощность ЭНУ;  $P_{рэну}$  — расчетная мощность ЭНУ. Расчетную мощность определяют из уравнения теплового баланса помещения или технологического процесса.

### 3. Выбор электрооборудования по экономическим критериям.

Электротехническая промышленность выпускает большое число исполнений и типоразмеров взаимозаменяемых видов электрооборудования. Выбирая его по техническим характеристикам, можно найти несколько вариантов изделий, удовлетворяющих одним и тем же исходным данным. задача выбора по техническим характеристикам имеет несколько решений. Чтобы среди равноценных по техническим возможностям решений найти оптимальный вариант, применяют выбор электрооборудования по экономическим параметрам.

Положительные или отрицательные последствия выбора могут сказываться не только на работоспособности или экономических показателях электрооборудования, но и на других, связанных с ним элементах системы электроснабжения технологического объекта. Поэтому при выборе по экономическому критерию необходимо рассматривать совокупность элементов, названную ранее системой И—Э—Т—С.

Исходные данные, характеризующие элементы системы, разделяют на четыре группы: 1 — условия электроснабжения (мощность потребительской подстанции, длина и марка проводов низковольтной линии и т. п.); 2 — условия использования (назначение привода, эквивалентная мощность и частота вращения рабочего органа машины, занятость в течение суток и года, допустимая продолжительность простоя из-за отказа, размер технологического ущерба и т. п.); 3 — дестабилизирующие воздействия (климатические условия, характер окружающей среды, интенсивность и структура аварийных режимов и т. п.); 4 — показатели технической эксплуатации (затраты на обслуживание, интенсивность отказов, фактическая продолжительность устранения отказов и т. п.).

**Выбор электрооборудования по исполнению.** Пусть первоначально для электропривода рабочей машины выбран электродвигатель общего назначения. Требуется определить по критерию приведенных затрат экономическую целесообразность применения на этой машине двигателя такой же мощности, но сельскохозяйственного исполнения.

В первом варианте двигатель имеет балансовую стоимость  $K_1$ , годовые затраты на его капитальный ремонт  $Z_{\text{рем}1}$ , технологический ущерб  $У_1$ . Во втором варианте стоимость двигателя возрастет до  $K_2$  (из-за более надежного исполнения), но затраты на капитальный ремонт и размер ущерба снизятся соответственно до  $Z_{\text{рем}2}$  и  $У_2$ . Прочие составляющие приведенных затрат сравниваемых вариантов можно принять одинаковыми -  $Z_{\text{пр}}$ .

С учетом изложенного запишем уравнения приведенных затрат рассматриваемых вариантов:

$$Z_1 = EK_1 + Z_{\text{рем}1} + Y_1 + Z_{\text{пр}}$$

$$Z_2 = EK_2 + Z_{\text{рем}2} + Y_2 + Z_{\text{пр}}$$

где  $E = E_{\text{норм}} + E_{\text{мод}}$  - суммарный коэффициент нормативных и модернизационных отчислений.

Комплектование электропривода двигателем сельскохозяйственного исполнения будет оправдано, если приведенные затраты на второй вариант будут меньше, чем на первый,  $Z_2 - Z_1 < 0$

Подставим в это равенство уравнения (4.2) и после преобразования получим искомое условие выбора двигателя сельскохозяйственного исполнения:

$$K_1 - K_2 < [(Z_{\text{рем}1} + Y_1) - (Z_{\text{рем}2} + Y_2)]E^{-1}$$

Отсюда видно, что двигатель сельскохозяйственного исполнения целесообразно применять только тогда, когда дополнительные затраты на приобретение и установку меньше экономии затрат на его капитальный ремонт и покрытие ущерба, достигаемой за расчетный срок

$$T_{\text{расч}} = \frac{1}{E}$$

Целесообразность применения более совершенного электрооборудования зависит не только от параметров окружающей среды, но и от интенсивности отказов электрооборудования базового исполнения, доли отказов, устраняемых за счет более совершенного изделия, и от ответственности электроустановки по размеру технологического ущерба. Для выбора исполнения по экономическому критерию необходимо определить допустимое удорожание электрооборудования нового исполнения и сравнить с фактическим (прейскурантным). Если оно не больше допустимого, то целесообразно выбрать электрооборудование более совершенного исполнения.

#### ***4. Выбор типа защиты электрооборудования.***

---

При эксплуатации электроприводов возникают различные аварийные ситуации, основные из которых - технологические перегрузки, неполнофазное (несимметричное) питание, затормаживание (заклинивание) ротора, *увлажнение изоляции* и *нарушение условий охлаждения*. Чтобы в этих случаях не допустить выхода из строя двигателя, его своевременно отключают от сети при помощи устройства защиты двигателя.

**Технологические перегрузки** - перегрузки, возникающие в процессе работы электродвигателя, приводят к увеличению температуры изоляции обмоток выше предельно допустимого значения (для соответствующего класса изоляции), не вызывают моментального пробоя изоляции обмотки электродвигателя, но влекут за собой ускоренное старение, постепенное разрушение и преждевременный выход из строя изоляции обмотки.

**Неполнофазное питание** (потеря фазы) возникает в случае перегорания одного из предохранителей, обрыва провода питающей сети, нарушения контактных соединений. При этом происходит перераспределение токов и напряжений электродвигателя, которое и приводит к его отказу. В зависимости от схемы обмоток, степени загрузки и места обрыва фазы может наступить или остановка ротора электродвигателя, или же он будет продолжать работать, но по его обмотке будут протекать повышенные токи.

*Особенно чувствительны к неполнофазному питанию электродвигатели малой и средней мощности. Если для двигателей мощностью более 20 кВт опасность разрушения обмотки статора возникает при нагрузке более 50 % номинальной, то для двигателей меньшей мощности - начиная с нагрузки 25 %.*

**Затормаживание ротора** вызывает самый тяжелый аварийный режим двигателей, возникает из-за разрушения подшипников, заклинивания рабочей машины, примерзания рабочих органов машины и т. д. Затормаживание ротора может происходить как во время пуска, так и во время работы двигателя. При затормаживании ротора по обмоткам двигателя протекают повышенные (пусковые) токи, при которых скорость нагрева обмотки достигает 7... 10 °С/с, и поэтому через 10... 15 с температура обмотки достигает предельно допустимых значений. Чем меньше постоянная времени нагрева электродвигателя, тем выше температура обмотки при одинаковой продолжительности этого режима и кратности пускового тока. Поэтому режим с заторможенным ротором представляет наибольшую опасность для электродвигателей

малой и средней мощности, так как у них постоянная времени нагрева меньше постоянной времени нагрева крупных электродвигателей.

**Защитные устройства.** Основное требование, предъявляемое к защитным устройствам, - не допускать перегрева статорной обмотки сверх допустимого значения при перегрузках двигателя и тем самым предохранять изоляцию обмотки от ускоренного износа. При этом отключение электродвигателя при перегрузках должно происходить при температуре обмотки, близкой к допустимой, чтобы по возможности более полно использовать перегрузочную способность электродвигателя.

В связи с переводом сельскохозяйственного производства на промышленную основу защитные устройства должны обеспечивать непрерывность производства, т. е. исключать ложные отключения при появлении кратковременных перегрузок, не представляющих опасности для электродвигателей. Кроме того, защитные устройства должны иметь достаточное быстродействие и минимальное время возврата после срабатывания, надежно работать в реальных условиях сельскохозяйственного производства, быть универсальными и удобными в эксплуатации.

Известно много типов (вариантов) защиты.

По *назначению* их можно разделить на три группы.

**Первая группа** — специальные устройства, которые реагируют на отдельный, специально контролируемый (основной) аварийный режим. Это устройства, отключающие двигатель при неполнофазном и несимметричном напряжении сети; при затормаживании ротора; при недопустимом снижении сопротивления изоляции.

**Вторая группа** — универсальные устройства, которые реагируют на несколько аварийных режимов, контролируя один параметр двигателя.

**Третья группа** — комплексные устройства, которые реагируют на все аварийные режимы, контролируя несколько параметров двигателя.

По параметру, контролируемому чувствительным (измерительным) органом устройства, все защиты можно разделить на токовые, тепловые, температурные, фазовые, защиты по напряжению и комплексные.

Выбор типа защиты по техническим характеристикам. Для защиты необходимо выявить структуру аварийных режимов, ожидаемых у конкретного электропривода, и подобрать такое устройство, которое наиболее полно реагирует на вероятные аварийные ситуации. Каждый тип защиты имеет следующие рациональные области применения. Для



защиты двигателей, используемых с постоянной или мало изменяющейся нагрузкой, следует применять тепловые реле. Для двигателей с длительной постоянной нагрузкой (вентиляторы, насосы и т. п.) - фазочувствительные устройства защиты. Двигатели, используемые в пыльных помещениях или имеющие резкопеременную нагрузку (дробилки, измельчители, лесопилки) либо частые пуски (дозаторы), должны снабжаться устройствами встроенной температурной защиты.

**Выбор типа защиты по экономическому критерию.** Для защиты электроустановок от одного и того же аварийного режима можно использовать разнообразные устройства. Например, защиту двигателя от перегрузки можно осуществить при помощи теплового реле, устройства встроенной температурной защиты и других аппаратов. Они имеют различные функциональные возможности и стоимости. Выбор по экономическому критерию состоит в том, чтобы найти такое устройство защиты, дополнительные затраты на которое компенсируются достигаемым снижением затрат на капитальный ремонт защищаемого электрооборудования и технологического ущерба.

Как и при выборе электрооборудования по исполнению, запишем уравнения приведенных затрат для двух сравниваемых вариантов защиты:

$$Z_1 = EK_1 + \lambda_1 K_{\text{рем}}(1 - y^*) + Z_{\text{пр}}$$

$$Z_2 = EK_2 + \lambda_2 K_{\text{рем}}(1 - y^*) + Z_{\text{пр}}$$

где:  $E = E_{\text{норм}} + E_{\text{мод}}$  - суммарный коэффициент нормативных и модернизационных отчислений,  $E = 0,25 \dots 0,28$  ;

$K_1, K_2$  - балансовые стоимости электроустановок с различными вариантами защиты;

$\lambda_1, \lambda_2$  - интенсивности отказов при сравниваемых защитах; — затраты на устранение одного отказа (ремонт);

$y^*$  — относительный технологический ущерб;

$Z_{\text{пр}}$  — прочие эксплуатационные затраты.

Исследуя эти уравнения по ранее рассмотренной методике выбора исполнения двигателя, находим условие выбора устройства защиты по экономическому критерию

$$\frac{K_{\text{защ}}}{K_{\text{дв}}} < \frac{(\lambda_1 - \lambda_2)(1 + y^*)}{E}$$

где:  $K_{\text{защ}}, K_{\text{дв}}$  - стоимость устройства защиты и двигателя.

Таким образом, экономически выгодно применять такое устройство, фактическая относительная стоимость которого не превышает допустимую по условию. Анализ показал, что для неответственных

электроприводов ( $y^* < 0,5$ ) с двигателями мощностью от 1 кВт и более экономически оправдано применение самых простых и дешевых устройств. Для ответственных электроприводов ( $y^* > 0,5$ ) лимитные цены этих устройств могут быть увеличены соответственно в 4...5 раз. Порядок выбора типа защиты регламентирован отраслевым стандартом «Методика выбора элементов пускорегулирующей и защитной аппаратуры электроприводов сельскохозяйственных машин».