

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ СЕЛУ

1007247

Г. С. Курбатова

**ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ  
ДЛЯ СЕЛЬСКОГО  
ХОЗЯЙСТВА**



**ПРОМЫШЛЕННОСТЬ - СЕЛУ**

Г.С. Курбатова

**ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ  
ДЛЯ СЕЛЬСКОГО  
ХОЗЯЙСТВА**

## Предисловие

В Продовольственной программе, одобренной на Майском (1982 г.) пленуме ЦК КПСС, предусматриваются увеличение производства всех видов продовольствия, ускоренное развитие химизации и мелиорации земель, укрепление кормовой базы, введение в действие специализированных животноводческих комплексов, крупных птицефабрик и т. д.

Научно-технический прогресс в сельском хозяйстве тесно связан с ростом электроэнергетической базы сельского хозяйства. Полный перевод сельского хозяйства на промышленную основу в значительной степени определяется широким внедрением электроприводов различных механизмов и, в первую очередь, в животноводстве и кормоприготовлении.

Асинхронные двигатели являются основой электропривода большинства механизмов, используемых в сельском хозяйстве.

По сравнению с 1965 г. число электродвигателей, используемых в сельском хозяйстве, увеличилось более чем в 6,5 раз, а их суммарная установленная мощность достигла 75 млн. кВт. Растет единичная мощность электродвигателей, используемых в сельском хозяйстве. Если в 1975 г. только 5 % поставленных сельскому хозяйству электродвигателей имели мощность свыше 5 кВт, то в 1982 г. таких электродвигателей было уже более 25 %.

В Продовольственной программе СССР предусмотрен дальнейший ускоренный рост энерговооруженности сельского хозяйства, в текущем десятилетии она увеличится в 1,6 раза. Установленная мощность электродвигателей в 1990 г. будет более 100 млн. кВт.

Повышение технической оснащенности сельскохозяйственного производства выдвигает на первый план требования к надежности работы электрооборудования.

Отказы электродвигателей могут привести к большому производственному ущербу, который часто во много раз превышает стоимость самого электродвигателя.

Поэтому для сельского хозяйства необходимо разрабатывать электродвигатели, надежно работающие в сложных специфических условиях сельского хозяйства.

Уже в первой половине 70-х годов в СССР начали разрабатывать специальные модификации двигателей сельскохозяйственного исполнения сначала в серии АО2, а затем в серии 4А. Они могут надежно работать в химически агрессивных средах животноводческих ферм, в запыленных помещениях на токах и в элеваторах.

Но мало создать высоконадежные электродвигатели, надо еще их правильно выбрать и установить в тот или иной сельскохозяйственный механизм, надо их также защитить от аварийных режимов: перегрузки, заклинивания механизма, обрыва фазы в сети и др.

Опыт эксплуатации электродвигателей в сельском хозяйстве показывает, что их аварийность еще очень велика и во многих хозяйствах достигает 20 % от общего числа установленных. Более 80 % всех отказов электродвигателей связано с несовершенством их защиты от аварийных режимов, неправильным выбором, недостатками в их эксплуатации.

В книге показаны особенности двигателей, разработанных для сельского хозяйства предприятиями электротехнической промышленности, приведены их параметры и характеристики.

Даны рекомендации по выбору электродвигателей для различных механизмов, используемых в сельскохозяйственном производстве: животноводстве, кормоприготовлении, зернообработке, растениеводстве, в ремонтных мастерских и др.

Большое внимание в книге уделено защите электродвигателей. Описаны распространенные виды защитных устройств электродвигателей, используемые в сельском хозяйстве, показаны преимущества и недостатки каждой из защит и даны рекомендации по их применению. В последнее время все большее применение в сельском хозяйстве находят электродвигатели со встроенной температурной защитой, которые автоматически отключаются от сети при достижении недопустимой температуры нагрева обмотки. В книге описаны такие защитные устрой-

ства, даны рекомендации по применению двигателей со встроенной температурной защитой в сельскохозяйственных механизмах.

В настоящее время в сельском хозяйстве обслуживанием двигателей занято более 100 тыс. сельских электриков. В книге даны рекомендации по обслуживанию электродвигателей при их эксплуатации в сельском хозяйстве.

Книга предназначена для инженеров и техников, разрабатывающих электродвигатели и электроприводы для сельскохозяйственных машин и механизмов, а также для сельских электриков, занимающихся их установкой, обслуживанием и ремонтом.

Книга будет содействовать дальнейшему повышению эффективности сельскохозяйственного производства.

*В. Радин,  
доктор технических наук,  
главный конструктор единых  
серий электродвигателей СССР*

Условия работы электродвигателей в сельском хозяйстве характеризуются как тяжелые в результате воздействия ряда факторов: повышенной влажности, наличия в воздухе животноводческих помещений агрессивных газов, повышенной частоты возникновения технологических перегрузок, неполнофазных режимов, широкого диапазона колебаний питающего напряжения, резких перепадов температур, недостаточного уровня оснащения двигателей защитными устройствами и технического обслуживания.

Проблема повышения эффективности использования и эксплуатационной надежности электродвигателей в сельском хозяйстве может быть решена наиболее полно, если применить к ней комплексный подход, т. е. связать структуру выпуска двигателей со структурой применения и условиями эксплуатации двигателей. При этом необходимо при планировании выпуска двигателей учитывать потребности в определенных типоразмерах и исполнениях.

Исследования условий эксплуатации двигателей в сельском хозяйстве выявили ряд факторов, оказывающих влияние на их надежность [1, 2, 5, 20]. Основные из них перечислены ниже.

*Специфичность окружающей среды* обусловлена:

1. Загазованностью стойловых животноводческих помещений аммиаком, углекислым газом, сероводородом (агрессивность среды в основном определяется содержанием аммиака и углекислого газа; последний в соединении с парами воды образует слабую неустойчивую углекислоту, которая усиливает коррозию металлов, содержание сероводорода обычно мало).

2. Резкими перепадами температуры в течение суток и низкими температурами зимой, повышенной влажностью при работе двигателей на открытом воздухе (наво-

зоуборочные транспортеры, установки водоснабжения и др.).

3. Повышенной влажностью воздуха при работе двигателей в кормокухнях, помещениях первичной обработки молока и др. (вода и дезинфицирующие растворы: щелочи, хлорная известь, кальцинированная сода и др.).

4. Запыленностью в установках для обработки зерна и кормовых трав.

В табл. 1 представлены статистические данные по параметрам среды, измеренным в местах установки двигателей в различных климатических зонах страны (в средней полосе, на Урале, Украине, Эстонии, Алтайском

Таблица 1

Параметры среды в местах размещения двигателей

Категория помещений по ПУЭ [35]	Места размещения двигателей	Пределы изменений параметров	
		Температура, °С	Влажность при 20° С, %
Сухие	Гаражи, отопляемые склады, инкубаторы, ремонтные мастерские	10—25	До 60
Влажные	Помещения, примыкающие к коровникам, цеха по переработке плодов и овощей, цеха первичной обработки молока (доильные залы)	10—25	60—100
Сырые	Насосные, молочные отделения	5—25	До 100
Особо сырые	Моечные помещения, колодцы, кормоцеха	-40 ÷ +40	100
Сырые и особо сырые с химически активной средой <sup>1</sup>	Свинарники, коровники, телятники, буйволятники, конюшни, овчарни, птичники	5—20	100
Пыльные <sup>2</sup>	Мельницы размольные, выбойные, зерноочистительные отделения, комбикормовые заводы, льноперерабатывающие пункты, хлопкоочистительные заводы, элеваторы	5—25	До 60

<sup>1</sup> В этих помещениях загазованность аммиаком 0,05, углекислым газом — до 18, сероводородом — до 0,05 г/м<sup>3</sup>, в остальных помещениях не измерялась.

<sup>2</sup> Запыленность 60—250 мг/м<sup>3</sup>.

и Приморском края). Обследования проводились в течение года по единой методике, разработанной в ВНИПТИЭМ.

Резкие перепады температур, высокая влажность, агрессивная среда отрицательно сказываются на коррозионной стойкости двигателей и особенно на электрической прочности изоляции. Высокая запыленность окружающей среды ухудшает охлаждение двигателя, так как забиваются вентиляционные отверстия в кожухе и межреберные каналы корпуса. Особенно неблагоприятно сочетание запыленности с высокой влажностью.

*Продолжительность работы двигателей в течение года* определяет степень их использования в условиях сельскохозяйственного производства. Исследования, проведенные в Минской, Саратовской и Владимирской областях, показали, что по годовой наработке двигателя целесообразно разделить на три группы — 500, 1500, 3000 ч соответственно. Годовая наработка должна определять периодичность и объем технического обслуживания.

	Средняя годовая наработка, ч	Режим работы по ГОСТ 183-74
Подъемники, погрузчики, разгрузчики, кран-балки, скребковые навозоуборочные транспортеры, ковшовые транспортеры, шнековые насосы, соломосилосорезки, картофелечистки, пневмомолоты, точильные станки, кормораздаточные транспортеры . . . . .	500	S2
Оборудование первичной обработки молока, мешалки, смесители, сепараторы, агрегаты витаминной муки, шнеки, триерные блоки, нории, вакуум-насосы, тестомялки, токарные, сверлильные, фуговальные станки, измельчители кормов, пресс-грануляторы, оборудование клеточных батарей . . . . .	1500	S1, S3
Компрессоры, вентиляторы, дымососы, пилорамы, дробилки, насосы кроме шнековых, транспортеры кроме работающих в режиме S2, сушильные барабаны, зерноочистительные сушильные комплексы, яйцесортировочные и яйцемоечные машины . . . . .	3000	S1



Характер загрузки по мощности определяется режимом работы двигателя, который зависит от механизма, с которым он сочленен. Двигатели вентиляторов, калориферов, сушилок, транспортных средств, обработки зерна работают с постоянной нагрузкой. Двигатели мельниц, дробилок, измельчителей имеют резкопеременный характер загрузки с систематическими и случайными перегрузками.

Для большинства сельскохозяйственных машин перегрузки обусловлены несоответствием параметров пускозащитной аппаратуры параметрам двигателя, недопустимыми колебаниями напряжения сельских сетей и низким уровнем технического обслуживания. Перегрузки возможны и за счет конструктивных недоработок установок, например, из-за отсутствия дозирующих устройств.

Возможность перегрузок приводит к тому, что установки комплектуются двигателями большей номинальной мощности. Например, на навозоуборочных транспортерах, работающих в неблагоприятных условиях пуска, особенно в зимний период при замерзании навоза, зачастую используются двигатели большей номинальной мощности, хотя с экономической точки зрения целесообразнее использовать двигатели с защитой от перегрузок при пуске или двигатели с повышенным пусковым моментом.

В табл. 2 в качестве примера представлены результаты измерений максимального значения коэффициента

Таблица 2

Механизм	Типоразмер двигателя	Номинальная мощность, кВт	$k_{\text{э}} = \frac{P_{\text{факт}}}{P_{\text{ном}}}$
Водяной насос	4A160S2CY1	15,0	0,38
Измельчитель соломы	4A160M4Y2	18,5	0,90
Дождевальная установка	4A160M8Y2	11,0	0,97
Циркулярная пила	4A160M4Y3	18,5	0,72
Механическая скреперная установка для уборки помета	4A160S4Y2	15,0	0,91
Нория для выгрузки картофеля	4A160M2Y2	18,5	0,81

загрузки  $k_3$  по мощности для двигателей сельскохозяйственных объектов Минской области [28]. Из таблицы видно, что в представленных механизмах используются двигатели завышенной мощности.

В некоторых случаях допускается даже перегрузка двигателей по мощности. Это объясняется тем, что основным фактором, определяющим его мощность, является рабочая температура изоляции. Она зависит от режима работы двигателя и температуры окружающей среды. Поэтому двигатели, работающие в кратковременном режиме или при пониженных температурах, имеют некоторый запас по времени нагрева изоляции и могут работать с перегрузкой по мощности на 20—30 %. Это относится к двигателям, работающим в зимнее время на открытом воздухе (пилорамы, соломосилосорезки, сортировки и т. д.), сочлененным с механизмами кратковременного режима работы. В табл. 3 представлены типовые условия эксплуатации двигателей в наиболее распространенном сельскохозяйственном оборудовании.

*Широкий диапазон колебаний питающего напряжения* в сельских сетях оказывает неблагоприятное воздействие при эксплуатации двигателей. Сельские сети в настоящее время проектируются с отклонениями напряжения у потребителей в пределах  $+7,5 \div -10$  %. Однако, как показали измерения, среднее суточное значение питающего напряжения в сельском хозяйстве составляет 340 В, но в течение суток может изменяться от 320 до 400 В. Расчеты показывают, что при соотношении между сопротивлениями сети и двигателя, равном 0,2, кратность максимального момента асинхронного двигателя снижается примерно на 35 % [1, 5], что чрезвычайно неблагоприятно для механизмов с тяжелыми условиями пуска или требующих высоких максимальных моментов (молочные сепараторы, лесопильные рамы, приводы сенных прессов и т. д.).

С целью повышения эксплуатационной надежности двигателей в подобных случаях возможно использование модификаций двигателей с повышенным пусковым моментом или повышенным скольжением и особенно важно правильно выбрать защиту в зависимости от возможных появлений аварийных ситуаций.

*Низкий уровень технического обслуживания* также является неблагоприятным фактором. Он обусловлен недостаточной квалификацией обслуживающего персона-

Оборудование, в котором установлен двигатель	Условия работы	Режим работы	Годовая на- работка, ч
Приточно-вытяжные установки, оборудованные для создания микроклимата	В чердачных помещениях с нормальными климатическими условиями. Непосредственно в стойловых помещениях (оконные вентиляторы) с химически агрессивной средой. В комбикормовых цехах, на мельницах и зернообработке при повышенной запыленности	S1	1000—1500
Транспортеры-раздатчики кормов, раздатчики-смесители, питатели кормов	В стойловых помещениях с химически агрессивной средой	S2 (возможность появления перегрузок зависит от квалификации обслуживающего персонала)	До 500
Зерноочистительные сушильные комплексы (привод вентиляторов, транспортеров и вибрирующих элементов)	При повышенной температуре окружающей среды и повышенной запыленности	S1 (перегрузки редки)	До 3000
Оборудование приготовления и гранулирования травяной муки, брикетирования кормов (привод вентиляторов, транспортеров, вибрирующих и формующих элементов, дозаторов и питателей)	Характерна повышенная запыленность, используется сезонно	То же	До 1500
Клеточные батареи для птиц и комплекты оборудования для птиц (привод вентиляторов, насосов, транспортирующих устройств)	Высокая агрессивность среды	S1 для вентиляторов, S2 для насосов и транспортеров (перегрузки редки)	До 1500
Яйцесортировочные и яйцемоечные машины (привод моечных щеток и транспортирующих устройств)	Повышенная влажность окружающей среды	S1 (перегрузок нет)	До 3000
Агрегаты для приготовления заменителей молока, установки для выпаивания животных (привод мешалок дозаторов сухого порошка, мешалки молочной смеси, привод поворота кронштейнов)	В стойловых помещениях при высокой агрессивности среды	S2 (перегрузок нет)	300—500
Доильные агрегаты (привод вакуум-насосов)	В специальных отсеках капитального типа либо на открытом воздухе под навесом (среда не агрессивная)	S1	До 1500

ла, территориальной разбросанностью объектов обслуживания, недостаточным оснащением запасными частями, неравномерностью загрузки электриков в связи с сезонностью работ, неблагоприятными климатическими условиями, ограничивающими своевременность обслуживания.

Кроме того, неблагоприятно сказывается *недостаток нормативных материалов* по выбору, эксплуатации и ремонту двигателей в сельском хозяйстве. Так, нигде не отражено, что проведение капитального ремонта двигателей серии 4А до высоты оси вращения 132 мм экономически нецелесообразно, а средний ремонт невозможен на всех высотах. Еще один пример: для двигателей с высотами оси вращения 50—132 мм используются подшипники с постоянно заложенной на весь срок службы смазкой ЛЗ-31. Подшипниковые узлы двигателей серии 4А больших высот оси вращения могут иметь устройства для пополнения и частичной замены смазки без разборки двигателей, что не отражено в существующей эксплуатационной документации.

Причиной низкой надежности двигателей может быть и *неудачная конструкция приводимого механизма*. Были выявлены случаи, когда расположение двигателя в механизме заведомо предполагало неблагоприятные условия его работы, и тем самым заранее планировалась его низкая эксплуатационная надежность. Так, в измельчителе кормов ИКМ-5 фланцевый щит двигателя является сборником воды, выделяющейся из продуктов обработки, которая беспрепятственно проникает в подшипниковый узел и на обмотку. Поэтому срок службы двигателя в данном механизме не превышает 6 мес.

Было выявлено также, что ряд предприятий сельскохозяйственного машиностроения для животноводства и кормопроизводства производит окраску двигателей совместно с механизмами, применяя при этом несовместимые по растворителям эмали, а также эмали горячей сушки, что снижает коррозионную стойкость двигателей.

Представленный анализ отражает влияние различных факторов на надежность. Чтобы выявить другие возможные резервы повышения эффективности использования двигателей, представляется целесообразным исследовать структуру их применения. Знание структуры применения необходимо проектировщикам двигателей,

чтобы при разработке новых серий или модернизации существующих точнее учитывать конкретные требования, предъявляемые к двигателям. Кроме того, структура применения является важнейшим элементом для правильного определения потребностей в электродвигателях, планирования их выпуска и распределения.

Для полного описания применения двигателей необходимо характеризовать его следующими основными признаками:

- 1) типоразмер;
- 2) режим работы, годовая наработка, число пусков в час;
- 3) функциональное назначение (наименование механизма и функция двигателя);
- 4) обрабатываемый предмет;
- 5) отрасль применения;
- 6) главный разрушающий фактор;
- 7) коэффициент загрузки по мощности;
- 8) годовая потребность в двигателях.

Очевидно, что при таком количестве признаков нельзя обойтись без классификации как общей, так и внутри каждого признака. Такая классификация, названная информационно-поисковой системой применения «ИПС применения», предназначена для обработки информации по применению на ЭВМ «Минск-32» или ЕС 1022 [9].

Для работы по «ИПС применения» в любой отрасли, применяющей двигатели, необходимо располагать массивами, которые могут быть получены следующими путями:

1. Переписью парка двигателей, осуществляемой ЦСУ СССР.
2. Обработкой протоколов и опросных листов, представляемых на согласование применения двигателей.
3. Обработкой заявок от министерств и ведомств в Госплан СССР на поставку двигателей.
4. Обработкой расчетов потребностей в двигателях, представляемых территориальными управлениями в Союзглавэлектро.

Каждый массив представляет перечень двигателей и признаков их применения. Каждый массив имеет свои достоинства и недостатки, поэтому необходим совместный анализ массивов.

Наиболее интересным является массив переписи парка двигателей, но последняя перепись проводилась в 1962 г. В настоящее время проводятся работы по обновлению данных такой переписи.

Массив протоколов и опросных листов, представляемых на согласование применения, имеет следующие достоинства:

- 1) данные, характеризующие условия и режим работы двигателей, составлены на достаточно профессиональном уровне и поэтому являются наиболее полными и достоверными;
- 2) в массив включаются перспективные разработки, данные по которым достоверны в течение длительного времени;
- 3) существует обратная связь между разработчиками двигателей и механизма, что позволяет проводить необходимые уточнения и корректировки.

Недостатки массива:

1) неодновременность получения данных, составляющих массив, срок создания практически полного массива обусловлен сроками обновления типажа механизмов и составляет 10—15 лет;

2) указанные в массиве объемы производства механизмов сугубо ориентировочны и не могут быть предметом обработки.

По материалам этого массива составляются справочники по условиям и режимам работы двигателей.

Массив заявок от министерств и ведомств в Госплан СССР на годовой выпуск двигателей имеет следующие достоинства:

1) одновременность получения данных;

2) разбиение по отраслям конечного применения;

3) полнота охвата выпуска двигателей.

Недостатки массива:

1) возможность неполной информации в заявках;

2) отсутствие показателей, характеризующих режимы работы.

Регионы страны представляют в Госплан СССР расчеты потребностей в двигателях. Эта информация достаточно полная и достоверная, но она дается по специальным запросам и не является обязательной.

Во ВНИПТИЭМ для двигателей, применяемых в сельском хозяйстве, были созданы следующие массивы:

1) согласования применения двигателей за период 1977—1982 гг. Этот массив является справочным по условиям эксплуатации;

2) составленный по заявкам Министерства тракторного и сельскохозяйственного машиностроения и Министерства машиностроения для животноводства и кормопроизводства в Госплан СССР. Массив содержит 510 записей на 1 222 933 двигателя, что составляет 40,7 % годового выпуска для сельского хозяйства;

3) по данным Союзсельхозтехники, созданный совместно с ВИСХ, содержащий 1222 записи на 1 867 854 двигателя, что составляет 62,3 % годового выпуска для сельского хозяйства;

4) расчета потребностей в двигателях по Украинской ССР как наиболее представительного региона страны. Массив содержит 221 запись на 412 180 двигателей, что составляет 13,7 % годового выпуска двигателей для сельского хозяйства.

Анализ массивов позволил получить структуру применения:

	Распределение двигателей в массивах, %
<i>По мощности, кВт</i>	
0,25—0,75	10,2
0,75—3,0	18,6
3,0—11,0	12,0
11—18,5	10,4
18,5—30	7,4
30—55	1,9
<i>По частоте вращения, об/мин</i>	
1500	30,4
1000	15,2
3000	6,3
750	2,2
Многоскоростные	3,4

<i>По механизмам</i>	
Транспортеры, конвейеры . . . . .	17,2
Вентиляторы . . . . .	16,8
Дробилки . . . . .	10,0
Смесители . . . . .	5,0
Групповой привод (двигатель приводит в движение несколько механизмов) . . . . .	2,8
Зачистные, щеточные машины . . . . .	2,2
Машины барабанного типа . . . . .	1,8
Шнеки, экструдеры . . . . .	1,7
Насосы . . . . .	1,4
Питатели, дозаторы . . . . .	1,2
<i>По объётам обработки</i>	
Корма грубые . . . . .	24
Водоволокнистые массы (навоз, жидкие корма) . . . . .	19
Воздух . . . . .	13,7
Жидкости . . . . .	3,4

Наибольшее количество двигателей приходится на механизмы, занятые переработкой кормов. Это двигатели комбикормовых заводов, кормокухонь, зернообрабатывающих пунктов, пунктов переработки овощей и т. д.

Установлено также, что каждый типоразмер двигателя имеет небольшое число основных потребителей. Знание конкретных потребителей позволило определить структуру серии и решить вопросы оптимального соответствия двигателей предъявляемым требованиям.

Благодаря изучению массивов применения была выявлена необходимость разработки специальных двигателей. Так, было установлено, что большое число двигателей работает в кратковременном режиме работы, и конструктивно стало возможным разработать двигатель упрощенной конструкции. Основным потребителем таких двигателей являются навозоуборочные транспортеры, ежегодный выпуск которых составляет 120 тыс. шт. В настоящее время разрабатываются такие двигатели для кратковременного режима работы, а для привода задвижек смесителей дозаторов комбикормов промышленных свинокомплексов уже серийно выпускаются Лобненским электромеханическим заводом двигатели 4АА56В4СҚу1.

Массивы применения являются полным информационным банком по режимам работы, условиям эксплуатации, потребностям в двигателях и механизмах, конкретным потребителям и разработчикам. Кроме того, «ИПС применения» в дальнейшем может быть использована в общегосударственной системе заявок на двигатели потребителями.

Электротехническая промышленность разработала и освоила выпуск электродвигателей сельскохозяйственного назначения, предназначенных для использования в наиболее тяжелых условиях производства, в частности в животноводческих помещениях.

В 1968—1970 гг. были разработаны и освоены на базе основного исполнения серии АО2, а малых габаритов — на базе серии Д двигателя сельскохозяйственного исполнения (АО2 СХ), предназначенные для работы в агрессивных средах. Двигатели имели ту же номинальную мощность, что и двигатели основного исполнения, но в них применялись улучшенные электроизоляционные материалы и провода. В двигателях с высотами оси вращения до 160 мм были использованы провода марки ПЭТВ, а в высотах 160—180 мм — ПЭТ-155. В качестве пазовой и межфазовой изоляции использовались стекломиканит и стеклолакоткань. Обмотка пропитывалась лаком ПЭ-933, стойким к воздействию влаги и агрессивных сред. Для выводных концов применяли провода с изоляцией из кремнийорганической резины. Вводные устройства предусматривали многократное присоединение кабелей как с медными, так и с алюминиевыми жилами с оболочкой из пластика или резины, а также гибкого металлического рукава, а конструкция вводного устройства допускала разворот с фиксацией через 180°. Для защиты двигателя от воздействия дезинфицирующих растворов применялись резиновые манжетные уплотнения по валу, кремнийорганический вазелин — по стыку подшипниковых щитов со станиной.

В качестве наружного покрытия были использованы лакокрасочные материалы типа МЛ-1156, стойкие к воздействию химически активных реагентов. Детали крепежа покрывались антикоррозионным кадмиевым покрытием.

Опыт эксплуатации этих двигателей в сельском хозяйстве показал их более высокую эксплуатационную надежность, чем двигателей основного исполнения в тех же условиях.



С переходом электротехнической промышленности на выпуск двигателей серии 4А стали разрабатываться и в этой серии двигатели сельскохозяйственного исполнения. Такие двигатели (рис. 1) охватывают диапазон высот оси вращения 50—200 мм и выпускаются с синхронными частотами вращения 3000, 1500, 1000 об/мин. Технические данные двигателей приведены в приложении 1.

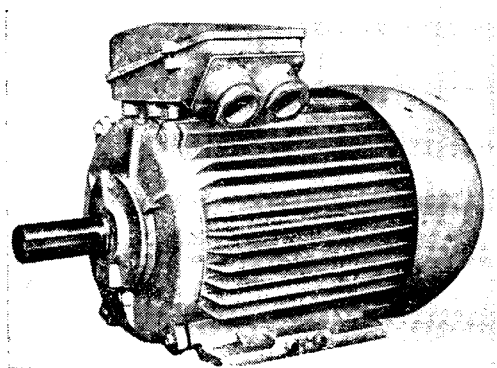


Рис. 1. Электродвигатель 4А160CV1

Габаритные, установочные и присоединительные размеры, предельные отклонения установочных размеров и масса двигателей сельскохозяйственного исполнения соответствуют двигателям основного исполнения серии 4А той же мощности и частоты вращения.

Двигатели с высотами оси вращения 50—63 мм имеют станину, подшипниковые щиты литые из алюминиевого сплава. Щиты армированы стальной втулкой. Корпус и крышка вводного устройства выполнены из пластмассы. Двигатели с высотами оси вращения 71—100 мм изготавливаются с двумя вариантами станин: чугуновой и из алюминиевого сплава. Двигатели с высотами оси вращения 112—200 мм имеют чугуновую станину, чугуновые щиты и литую из алюминиевого сплава коробку вводного устройства.

В двигателях с высотами оси вращения 50—132 мм установлены подшипники серии 180000 с двумя уплотнениями и заложеной на весь срок службы подшипников смазкой. Применение таких подшипников значитель-

но облегчает эксплуатацию. Двигатели с высотами оси вращения 160—200 мм в отличие от двигателей основного исполнения серии 4А имеют подшипниковые узлы с устройством для пополнения или частичной замены смазки без разборки двигателя. Пополнение смазки производится с помощью штокового или рычажно-плунжерного шприца. Пополнение смазки рекомендуется производить через 2000—3000 ч работы двигателя, но не реже 1 раза в 1,5 года. Частичную замену смазки подшипников рекомендуется производить через 4000—6000 ч работы, но не реже 1 раза в 3 года.

Для того, чтобы предотвратить попадание внутрь двигателя воды и дезинфицирующих растворов, предусмотрены сальниковые уплотнения по линии вала, выполненные из тонкошерстного войлока. Подпитку сальниковых уплотнений производят трансформаторным маслом (2—4 г масла на одно войлочное кольцо). Двигатели меньших высот оси вращения имеют бесконтактное щелевое уплотнение.

Двигатели с высотами оси вращения 50—132 мм имеют вводное устройство с одним штуцером, с высотой 160—200 — с двумя, с высотами 71—132 мм вводное устройство со встроенной температурной защитой и с двумя штуцерами.

Крепеж, болты заземления, выводные концы двигателей имеют кадмиевое антикоррозионное покрытие, стойкое к действию дезинфицирующих растворов. Для покрытия наружной и внутренней поверхностей станины, подшипниковых щитов, наружной поверхности ротора используется химостойкая эмаль ЭП-40. Применение этой эмали позволяет надежно защитить корпус двигателей от коррозионного воздействия дезинфицирующих растворов и агрессивных газов, содержащихся в атмосфере животноводческих помещений.

Лобовые части обмотки статора покрыты эмалью КО-935. Дополнительное защитное действие эмали повышает срок службы обмотки двигателей. Электродвигатели некоторых типоразмеров имеют покрытие лобовых частей эмалью ЭП-91. Этой же эмалью покрыты внутренние поверхности подшипниковых щитов и станины. Наружная поверхность ротора и свободная поверхность вала покрыты эмалью КО-935. Такое покрытие защищает алюминиевую короткозамкнутую обмотку ротора от коррозионного воздействия содержащихся в воз-

духе животноводческих помещений агрессивных примесей, в особенности аммиака.

Степень защиты двигателей серии 4А сельскохозяйственного исполнения по ГОСТ 17494-72 соответствует IP44.

Двигатели всех высот оси вращения, за исключением двигателей для мотор-редукторов, имеют конструктивные исполнения по способу монтажа в соответствии с ГОСТ 2479-79—IM1081, IM2081, IM3081. Кроме того, в зависимости от высоты оси вращения двигатели могут иметь следующие исполнения:

Высота оси вращения, мм . . . . .	50—90	50—180	50—100	200
Конструктивное исполнение по ГОСТ 2479-79 . . . . .	IM2181	IM3041	IM3641	IM3011, IM3031

Двигатели для мотор-редукторов имеют исполнение IM3001.

Двигатели сельскохозяйственного исполнения имеют несколько модификаций:

Высота оси вращения, мм . . . . .	50—56	63	71—132	160—200
С повышенным пусковым моментом . . . . .	—	—	—	+
С повышенным скольжением . . . . .	—	—	+	+
Многоскоростные . . . . .	+	+	+	+

Примечание. + — указанные модификации предусмотрены; — — указанные модификации не предусмотрены.

*Двигатели с повышенным пусковым моментом* предназначены для привода механизмов с тяжелыми условиями пуска, большими статическими и инерционными нагрузками (смесители кормов, дробилки, измельчители и т. д.). Кроме того, применение двигателей с повышенным пусковым моментом для привода механизмов, не имеющих больших статических моментов сопротивления, позволяет осуществлять пуск при переключении обмотки статора со звезды на треугольник. В этом случае значительно снижается ток при пуске.

*Двигатели с повышенным скольжением* предназначены для привода механизмов с пульсирующей нагрузкой, а также для механизмов, имеющих повторно-кратковременный режим работы S3 и перемежающийся режим S6. Возможно использование в повторно-кратковременном режиме работы с частыми пусками S4 и повторно-крат-

ковременном S2 (запорная арматура, лебедки, различные подъемники).

*Многоскоростные двигатели* предназначены для привода механизмов со ступенчатым регулированием скорости.

Разработаны также двигатели сельскохозяйственного исполнения со встроенной температурной защитой [33]. Они предназначены для привода машин и механизмов, работающих в среде повышенных температур, предрасположенных к технологическим перегрузкам и частым пускам. К таким механизмам относятся дробилки, смесители кормов, насосы для горячей воды, печи и т. д.

Встроенная температурная защита отключает защищаемый двигатель от сети при аварийных тепловых режимах, при продолжительной работе двигателя с перегрузкой по мощности, при значительном снижении напряжения сети.

В зависимости от условий эксплуатации возможно применение двигателей серии 4А специализированных исполнений по условиям окружающей среды.

*Для комбикормового и мукомольного производства* могут использоваться разработанные в серии пылезащищенные двигатели модификации УПУЗ основного исполнения и с повышенным пусковым моментом (рис. 2). Пылезащищенные двигатели выпускаются в высотах оси вращения от 56 до 250 мм. Двигатели отличаются от основного исполнения степенью защиты: IP54 вместо IP44, что достигнуто соответствующими уплотнениями по линии вала, щитов и вводного устройства. Подшипниковые узлы их допускают возможность пополнения и частичной замены смазки без разборки двигателя.

В сельском хозяйстве могут использоваться и *двигатели 4А, климатического исполнения У2*, предназначенные для работы в средах повышенной влажности. Они отличаются от двигателей основного исполнения влагоморозостойкой изоляцией и защитными покрытиями.

Для технологических процессов, связанных с обработкой удобрений, химикатов, возможно использование *двигателей химостойкого исполнения*. Двигатели предназначены для работы в средах с концентрацией химически активных реагентов, г/м<sup>3</sup>, указанных ниже:

Серный ангидрид . . . . .	0,02
Сернистый ангидрид или серная кислота . . . . .	0,002
Хлористый водород и соляная кислота . . . . .	0,01

Хлор Cl <sub>2</sub> . . . . .	0,001
Аммиак NH <sub>3</sub> . . . . .	0,02
Оксиды азота в перерасчете на N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,005 †
Смеси: SO <sub>2</sub> +HCl . . . . .	0,02+0,01
SO <sub>3</sub> +HCl . . . . .	0,002+0,01
SO <sub>3</sub> +окислы азота . . . . .	0,002+0,005

Двигатели имеют высоты оси вращения 50—250 мм. В отличие от двигателей основного исполнения в них применяются химостойкие изоляционные материалы и антикоррозионные покрытия всех деталей и узлов. Технические данные двигателей химостойкого исполнения полностью соответствуют техническим данным двигателей основного исполнения со степенью защиты IP44 или техническим данным машин соответствующих модификаций.

Для высокопроизводительного мельничного оборудования в 1979 г. были разработаны и внедрены в производство электровибраторы ЭВ 63-4УЗ, ЭВ 100-4УЗ, ЭВ 100-6УЗ и ЭВ 132-4УЗ. Разработка вибраторов вызвана необходимостью внедрения передовой технологии мельничного производства, позволяющей добиваться повышения эффективности использования продовольственных зерновых ресурсов, улучшения качества и увеличения в 2 раза выхода муки высшего сорта из 1 т зерна по сравнению с действующими в настоящее время передовыми мельничными предприятиями. Электровибраторы предназначены для создания колебательных движений в механизмах мельничного и элеваторного оборудования.

	Номинальная * мощность, кВт	Максимальная возмущающая сила, кН	Синхронная частота вращения, об/мин
ЭВ 63-4УЗ . . . . .	0,12	180	1500
ЭВ 100-4УЗ . . . . .	0,75	600	1500
ЭВ 100-6УЗ . . . . .	0,37	530	1000
ЭВ 132-4УЗ . . . . .	2,2	1860	1500

Электровибратор представляет собой короткозамкнутый двигатель с естественным охлаждением и эксцентриковыми грузами, установленными на выступающих концах вала двигателя (рис. 3). Зона вращения эксцентриковых грузов у вибраторов типов ЭВ 63-4УЗ, ЭВ 100-4УЗ, ЭВ 100-6УЗ защищена литыми кожухами. Защита зоны вращения эксцентриковых грузов вибратора типа

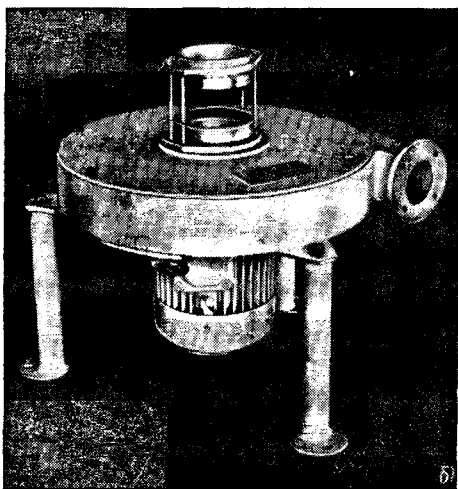
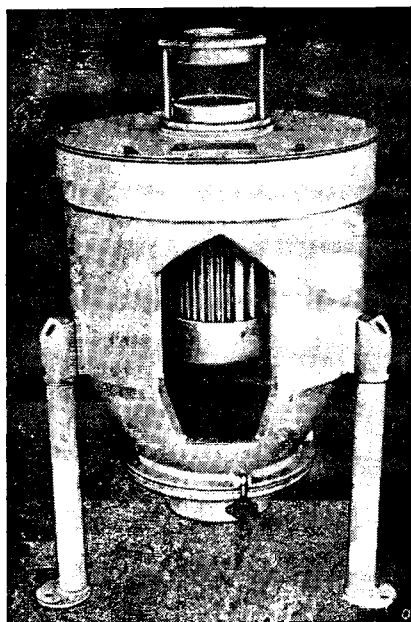


Рис. 2. Энтолейтор с электродвигателем 4А132S4УПУЗ

ЭВ 132-4УЗ должна быть обеспечена конструкцией механизма.

При вращении двигателя эксцентриковые грузы создают вибрацию с частотой и амплитудой, определяемой частотой вращения двигателя и возмущающей силой.

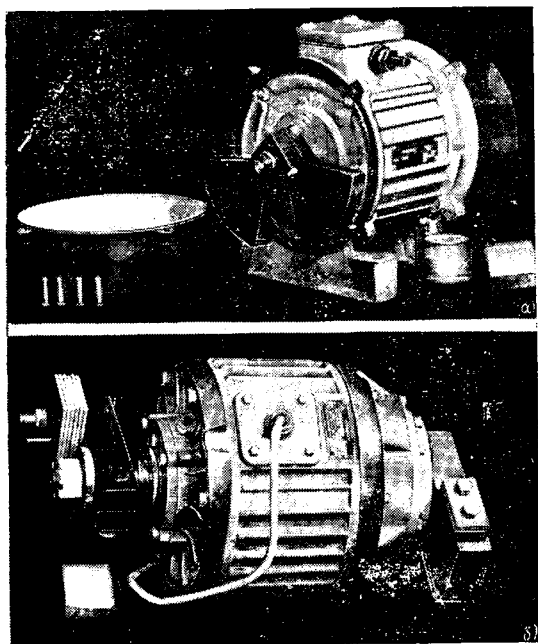


Рис. 3. Электровибраторы:  
а — ЭВ100-4УЗ; б — ЭВ132-4УЗ

Станина вибраторов типов ЭВ 63-4УЗ, ЭВ 100-4УЗ, ЭВ 100-6УЗ выполнена из алюминиевого сплава с горизонтально-вертикальными ребрами, увеличивающими жесткость и теплоотдачу. Корпус вводного устройства отлит совместно со станией. Станина вибратора типа ЭВ 132-4УЗ выполнена из чугуна с радиально-ориентированными ребрами.

Подшипниковые щиты из высокопрочного чугуна отлиты совместно с лапами, предназначенными для присоединения вибратора к механизму.

Эксцентриковые грузы вибраторов ЭВ 63-4УЗ, ЭВ 100-4УЗ, ЭВ 100-6УЗ выполнены из чугуна и установ-

ливаются по 2 шт. с каждой стороны вибратора. Разведение их друг относительно друга позволяет плавно регулировать возмущающее усилие от нуля до максимального значения. Взаимное расположение эксцентриковых грузов с каждой стороны должно быть симметрично, для чего имеется шкала с разметкой от 0 до 360°. Для ступенчатого регулирования возмущающей силы на эксцентриковые грузы устанавливаются регулировочные грузы.

Общее наблюдение за вибратором заключается в периодическом контроле стабильности частоты и амплитуды колебаний, температуры корпуса, состояния контактов, токоподводящего кабеля и систематической очистке вибратора от мучной пыли. Периодичность технических осмотров устанавливается в зависимости от производственных условий, но не реже 1 раза в месяц. Подшипники в вибраторах типа ЭВ 63-4УЗ заполнены на предприятии-изготовителе смазкой, рассчитанной на весь срок службы подшипника без замены и пополнения. Подшипники в вибраторах типов ЭВ 100-4УЗ, ЭВ 100-6УЗ нуждаются в замене смазки через 6000 ч. Подшипники вибраторов типа ЭВ 132-4УЗ требуют пополнения смазки через 2000 ч.

Межведомственные испытания подтвердили высокую надежность и работоспособность электровибраторов, полное выполнение ими технологических функций и соответствие зарубежным аналогам. В 1980 г. были изготовлены электровибраторы для двух комплектов мельниц, в 1982 г. — для 10 комплектов, а за 1981—1985 гг. — для 50 комплектов мельниц.

Экономический эффект от разработки и внедрения электровибраторов ЭВ 63-4УЗ, ЭВ 100-4УЗ, ЭВ 132-4УЗ составляет 504,39 тыс. руб. На ВДНХ СССР в 1980 г. электровибраторам были присуждены шесть серебряных и бронзовых медалей.

Помимо указанных, для сельского хозяйства разработаны узкоспециализированные двигатели.

Для привода тепловентиляторов ТВ-6, ТВ-9, ТВ-12, ТВ-18, ТВ-24, ТВ-36 животноводческих комплексов выпускаются двигатели ДЗВ80В8/4ПЗСХУ2 и 4АЗВ100S8/4СХУ2 (Д, 4А — обозначение базовой серии; 3В — для привода вентилятора; 80,100 — условная высота оси вращения; В — условная длина магнитопровода; S — обозначение установочного размера по длине корпуса; 8/4 — сочетание чисел полюсов; ПЗ — для ус-



тановки в вентилятор на кронштейнах; СХ — сельскохозяйственное, химостойкое исполнение; У — климатическое исполнение; 2 — категория размещения).

Мощность этих двигателей составляет соответственно 0,18/0,55 и 0,55/2,20 кВт, а синхронные частоты вращения 750/1500 об/мин. Схема соединения обмотки статора — звезда/двойная звезда, количество выводных концов — 6. Двигатели допускают кратковременную работу с сохранением номинального момента при снижении напряжения до 80 % номинального значения в течение времени не менее 10 мин. Допускаемая осевая нагрузка на выступающий конец вала ДЗВ80В8/4ПЗСХУ2 составляет 73,5 Н.

Для птицеводческих помещений на базе серии 4А разработаны двигатели 4АПА-06У2 (рис. 4), предназначенные для привода вентиляторов типов ВО5, 6МУЗ с подачей до 6000 м<sup>3</sup>/ч и двигатели 4АПА80А6У2 — для вентиляторов типов ВО7, 1МУЗ с подачей до 11 000 м<sup>3</sup>/ч.

Технические данные двигателей при частоте 50 Гц приведены в табл. 4.

Степень защиты двигателей IP55.

Покрyтия, конструктивные и электротехнические материалы двигателей выдерживают воздействие дезинфицирующих составов и аэрозолей по ГОСТ 19348-74.

Таблица 4

Наименование параметра	4АПА80-06У2	4АПА80А6У2
Номинальная мощность, кВт	0,37	0,55
Коэффициент полезного действия, %	65	66
Коэффициент мощности	0,65	0,62
Кратность начального пускового тока	4,0	4,0
Кратность начального пускового момента	2,0	2,0
Кратность минимального момента	1,6	1,6
Кратность максимального момента	2,2	2,2
Частота вращения, об/мин	940	930
Масса, кг	9,5	11,2

Подшипники этих двигателей закрытого типа серии 6180605КС9Ш1 обеспечивают работу двигателя без замены и пополнения смазки в течение срока службы подшипников (10 000 ч). Герметичность двигателя достигается за счет покрытия поверхностей сопряжения герметизирующими составами.

В настоящее время разрабатываются встраиваемые двигатели для привода погружных насосов, работающих в системах водоснабжения, орошения и для перекачки

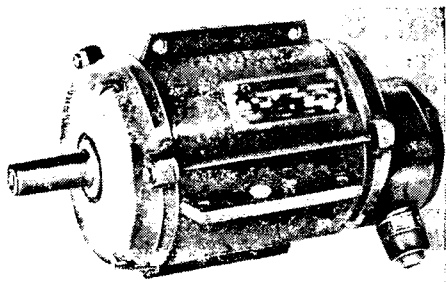


Рис. 4. Электродвигатель 4АПА80-06У2 для птичников

стоков с животноводческих комплексов. Двигатели на синхронную частоту вращения 3000 об/мин имеют мощности 5,5, 15, 90, 132, 200, 315 кВт; на 1500 об/мин — 11, 22, 45, 160, 200 кВт; на 1000 об/мин — 110 кВт, на 750 об/мин — 160 кВт. Двигатели имеют водостойкую изоляцию обмотки статора и выводных концов и рассчитаны на перекачку:

пресной воды с температурой не выше  $+35^{\circ}\text{C}$  с содержанием механических примесей до 0,6 % по массе, из них абразивных не более 0,1 %, водородный показатель (рН) от 6 до 10;

стоков животноводческих комплексов с содержанием взвесей до 6 % объема и размерами до 10 мм, плотностью до  $1018\text{ кг/м}^3$ , взвеси волокнистых частиц до 4 %; водородный показатель (рН) от 6 до 8.

Двигатели будут изготавливаться в климатическом исполнении У или Т категории размещения 5 по ГОСТ 15150-69.

Для проверки двигателей внутреннего сгорания ГОСНИТИ разработал обкаточно-тормозные стенды [37], для привода которых электротехническая промышленность на базе асинхронных двигателей с фазным ротором разработала балансирующие машины АКБ 8, 9 и 10-го габаритов. Асинхронные балансирующие машины трехфазного

тока типа АКБ выпускаются на мощности 37, 55, 75, 90, 160 кВт. Машины могут работать в двигательном и генераторном режимах.

Проверка испытуемых дизельных двигателей на стенде состоит из двух этапов: холодная обкатка — испытуемый двигатель приводится во вращение балансирной машиной, которая работает в двигательном режиме; горячая обкатка — испытуемый двигатель работает в генераторном режиме. Основные параметры машин приведены в приложении 2. Форма исполнения IM6811 по ГОСТ 2479-79. В двигательном режиме допускается плавное изменение частоты вращения от  $0,4 n_c$  до  $n_c$  при  $M = 0,6 M_{ном}$  в течение 1 ч; в генераторном режиме — плавное изменение частоты вращения от  $n_c$  до  $2 n_c$  при  $M = 0,2 M_{ном}$  до  $M_{ном}$  в течение 2 ч; при этом продолжительность работы при  $n = 2n_c$  и  $M = M_{ном}$  не должна превышать 10 мин. Машины на мощность 37 и 90 кВт в указанных режимах допускают перегрузку по моменту на 10 % сверх допустимого значения.

В настоящее время широко внедряется регулируемый привод, в котором находит применение асинхронный вентильный каскад. К достоинству АВК следует отнести возможность осуществления рекуперации энергии без применения промежуточных преобразователей. Поэтому в настоящее время проводится исследование возможности использования двигателей 4АНК в качестве балансирных машин в составе асинхронно-вентильного каскада и испытательных стендов двигателей внутреннего сгорания, что позволит рекуперировать энергию в сеть при работе машин в режиме генератора.

В табл. 5 приведен перечень асинхронных двигателей, выпускаемых электротехнической промышленностью и поставляемых сельскому хозяйству. По данным Госплана СССР, начиная с 1972 г. объем поставок двигателей сельскому хозяйству составляет 29—30 % их ежегодного выпуска. В 1980 г. для комплектации сельскохозяйственных машин выделено 2327 тыс. двигателей, на амортизацию изношенного оборудования 347 тыс. и поставлено с общепромышленным оборудованием 590 тыс. шт., т. е. в целом сельское хозяйство получило 3264 тыс. двигателей.

По мере развития агропромышленных комплексов, механизации, кормопроизводства и первичной переработки сельскохозяйственной продукции, создания круп-

Таблица 5

Тип двигателя	Высота оси вращения, мм										
	56	63	71	80	90	100	112	132	160	180	200
Основное исполнение 4А	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
С повышенным скольжением 4АС	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
С повышенным пусковым моментом 4АР	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
Многоскоростные	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Влагоморозостойкие 4А...У2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Для холодного климата	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-
Для сельского хозяйства 4А...СУ1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Химостойкие	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Для птицеводческих помещений:											
Д(П)	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-
4А(П)	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Сельскохозяйственные с УВТЗ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Пылезащитные 4А (УПУЗ)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Электровибраторы ЭВ	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-
Для привода тепловентилей ТВ	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-

Примечание: + — двигатели выпускаются; — — не выпускаются.

ных овощехранилищ, мельниц и элеваторов парк асинхронных двигателей в сельском хозяйстве будет возрастать и по прогнозам к 2000 г. по сравнению с 1980 г. увеличится вдвое.

Учитывая ограниченные ресурсы материалов и рабочей силы, необходимо повышать качество двигателей, их надежность, долговечность и эффективность использования.

## ГЛАВА 3 Правила выбора электродвигателей для сельскохозяйственных машин

Для выбора двигателя необходимо сопоставление параметров окружающей среды, параметров механизма и двигателя с целью определения принципиальной технической возможности функционирования двигателя, обес-

печения приемлемой долговечности двигателя, выбора наиболее экономичного варианта применения. В большинстве случаев проектировщики механизмов, как правило, выбирают двигатели по номинальной мощности без учета других факторов: интенсивности и экстенсивности загрузки, режимов работы, сроков службы, климатических исполнений и т. д. В ряде случаев необоснованно завышены требования к электродвигателям, что приводит к применению более материалоемких и трудоемких модификаций и специализированных исполнений и к фактическому недоиспользованию срока службы двигателей. Так, например, нецелесообразно использовать двигатели сельскохозяйственного исполнения в механизмах, работающих в неагрессивных средах. На навозоуборочных транспортерах иногда необоснованно ставят двигатели повышенной мощности вместо того, чтобы защитить двигатели от аварийных перегрузок. Часто срок службы самих механизмов меньше срока службы двигателей, и двигатели, еще пригодные к эксплуатации, списываются вместе с оборудованием. Так, по ГОСТ 19523-81 средний срок службы двигателей серии 4А составляет 15 лет, а установки, в которых они используются: картофелечистки, измельчители, соломосилосорезки и др. — имеют срок службы от 2 до 5 лет.

Для правильного выбора двигателей предлагается учитывать соответствие параметров двигателя параметрам механизма, сети, окружающей среды:

Параметры механизма	Параметры двигателя
Режим работы, частота вращения, момент инерции	Номинальная мощность, частота вращения, механическая характеристика
Место установки двигателя в механизме	Исполнение по способу монтажа
Параметры сети: напряжение и частота	Напряжение, частота
Параметры внешней среды: температура, влажность, атмосферное давление, агрессивность, запыленность	Номинальная мощность (уточняется), исполнение по степени защиты, климатическое и специализированное исполнение по условиям окружающей среды
Механические воздействия со стороны фундамента и механизма, способ сочленения двигателя с механизмом	Группа по механическим воздействиям внешней среды, на которую рассчитан двигатель, допустимые нагрузки на подшипники и вал

Параметры механизма	Параметры двигателя
<p>Влияние двигателя на механизм и окружающую среду: допустимый уровень шума и вибрации</p> <p>Экономические показатели: стоимость отказа, годовая работа, коэффициент загрузки, цена электроэнергии, цена электрооборудования</p>	<p>Уровень шума и вибрации</p> <p>Показатели надежности, рабочие характеристики, цена</p>

Методы выбора двигателей по номинальной мощности, рабочей и механической характеристикам достаточно полно изложены в литературе по электроприводу и специальной литературе, относящейся к конкретным механизмам [3, 14, 22], и в данной книге не рассматриваются. В [34] приведены основные технические данные двигателей, которые позволяют контролировать правильность выбора двигателей. В табл. 6 даны рекомендации по выбору электрических модификаций для наиболее распространенных сельскохозяйственных механизмов, рекомендации по выбору двигателей по условиям окружающей среды.

Для различных видов помещений в зависимости от установленного в них оборудования нужно применять двигатели различных климатических исполнений (У2, У3, ХУ3 и др.) и исполнений по степени защиты (IP44, IP54). Для выбора двигателей можно пользоваться приведенными ниже рекомендациями.

### **У3, IP44**

*Сухие помещения* (инкубаторы, котельные, гаражи, отапливаемые склады):

Инкубаторы типа У-55 и др.; пароводяные установки типов КВ-300М, КЕ-500; котлы типов Д-721А, ДКВР-2,5 и др.; оборудование типа ПНГ-1 к котлам для сжигания жидкого топлива; оборудование линий типа ЛО2-6,5 для обработки яиц; яйцесортировальные машины типа М-4М; яйцесортировальные машины типов ЯС-1, МСЯ-1М.

Таблица 6

Механизмы	Высоты оси вращения двигателей, мм	Требования к механической характеристике двигателей		Характерные режимы работы двигателя по ГОСТ 183-74	Наиболее вероятное число пусков в [час	Электрическая модификация
		$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$			
Вентиляторы, дымососы, воздухоудовки, вентиляторы газовых горелок	50—280	0,3—0,5	1,1—1,75	S1	1—6	—
Сушилки, установки для вентилирования сена и зерна	50—250	1,0—2,0	1,7—2,0	S1, S3	1—6	—
Комплекты приточно-вытяжных установок, комплекты типа «Климат»	50—200	1,0—2,0	1,7—2,0	S1	1—6	—
Насосы	50—280	Не менее 0,3	1,5—2,0	S1, S2, S3	1—30	—
Компрессоры	50—315	Не менее 0,3	1,5—2,0	S1	1—6	—
Транспортеры, конвейеры	50—160	1,0—2,0	Не менее 2,2	S2	1—30	С повышенным скольжением, с повышенным пусковым моментом
Шнеки, норы	50—180	1,8—2,0	Не менее 2,2	S1	1—6	С повышенным пусковым моментом

Механизмы	Высоты оси вращения двигателей, мм	Требования к механической характеристике двигателей		Характерные режимы работы двигателя по ГОСТ 183-74	Наиболее вероятное число пусков в час	Электрическая модификация
		$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$			
Манипуляторы, толкатели, кантователи	56—180	1,8—2,0	Не менее 2,0	S2, S3	1—6	С повышенным скольжением
Подъемники, лебедки, по- грузчики	50—200	1,0—2,0	Не менее 2,2	S2	До 30	С повышенным скольжением, с повы- шенным пусковым моментом
Задвижки, затворы	50—132	1,5—2,0	Не менее 2,2	S2	До 30	То же
Смесители кормов, центри- фуги, сепараторы, очистители- охладители	50—250	Не менее 1,25	Не менее 1,75	S1	1—6	—
Дробилки, комбикормовые установки, соломосилосорезки, измельчители, мельницы, агре- гаты витаминной муки	80—250	1,0—1,5	Не менее 2,5	S1, S2, S3	1—6	С повышенным скольжением, с повы- шенным пусковым моментом, с фазным ротором
Станки	50—132	1,0—1,2	Не менее 1,5	S1, S3, S4	1—6	С повышенным скольжением
Щеточно-моющие машины	112—180	Не менее 1,0	Не менее 2,0	S1	1—6	—

Примечание. Прочерк означает применение двигателя основного исполнения.  $M_{\text{max}}$ ,  $M_{\text{пуск}}$ ,  $M_{\text{ном}}$  — максимальный, пусковой и номинальный моменты.



*Влажные* (подсобные помещения, мастерские):

Коконосушки типа СК-150К; станки для заточки пил и секаторов типов СЗ-1, СЗН-1; мешкозашивочные машины типа ЗЗЕ-М.

*Сырые* (цеха по переработке продуктов животноводства, помещения для теплогенераторов, цеха по переработке плодов и овощей):

Костедробильные машины типа КДМ-2М; куттеры типа Л5-ФК-1К; гомогенизаторы типа ОГБ-М; маслоизготовители типа ММ-1000; котлы вакуумные горизонтальные типов КВМ-4, 6, К4-ФПА; электропилы для распиловки туш типа ФЗП; полуавтоматы для расфасовки меда типа ПАД-3; сепараторы типов РТ-ОМ-46, ОСД-500; прессы типа ЕФ-ФОБ; теплогенераторы ТГ-2,5А и др.

Оборудование линий товарной обработки плодов типа ЛТО-3; агрегаты типа АСК-2 для сортировки плодов; транспортеры инспекционные типов КТО, ТСК; закаточные машины типов АВМ-3П, АБПЛ-11/32; машины типа «Ритм» для резки корнеплодов; насосы типа Н-21; варочные котлы типа МЗС; протирочные машины типов КПД, КПТ, КПТУ-М, КТСА-10, МГ-2; стекатели типа ВССШ-20; выделители семян типов ВСТ-1, 5А, СОМ-2, НБК-5А.

## **У2, IP44**

*Особо сырые* (кормоприготовительные цеха для влажных кормов животноводческих ферм и комплексов; доильные залы; молочные, насосные, моечные отделения молочных ферм; силосные и сенажные башни; наружные установки; овощефруктохранилища; сараи, неотопливаемые склады; моечные отделения цехов по переработке плодов и овощей; парники, теплицы):

Кормоприемники-питатели типа КП-10; питатели-дозаторы типов КПК, КПС, ПСМ-10, ПК-6 и др.; транспортеры типов ШЗС-40М, ШВС-40М, ТС-40 и др.; измельчители кормов типов ИГК-30Б, КДУ-2; КДМ-2, «Волгарь-5», ИКС-305, ИКМ-5, КПИ-4, ДКУ-1, Ж-3-ФИС, ДТК-20МЗ, МП-1-160, МТК-15, МРК-5 и др.; смесители кормов типов С-2, С-12, СМ-1,7, АПС-6, ФЗМ-6, А9-ДСГ-0,2; кормоприготовительные агрегаты типов АПК-10, КПА-69, АЗМ-0,8 и др.; варочные котлы типов ВКС-3М, ВК-1; фаршемешалки типов ФМ-6, Л5-ФМБ; пастоизготовители типов ПЭ-1, ПЭ-2 и др.; дозаторы типа МТД-3А; установки для подогрева воды типа ВЭП-60.

Молочные насосы доильных установок типов АД-180А, ДАС-2Б, АДМ-8, УДЕ-8; резервуары типов В2-ОМГ, В2-ОМВ, ТОВ-1, ТО-2, ТОМ-2А, ВСГМ; охладители типов ДМ-1, МХУ-8С, ИФ-56; автоматы для расфасовки молока типа Д9-АП-1НМ; сепараторы типов СОМ-3-1000, СПМФ-2000, ОСЦ-3М, Г9-ОМ-4А, ОСТ-3, ОМА-3М; пастеризаторы типов ОПФ-1, ОПУ-3М, ОПД-1М, Г6-ОПБ-1000; моечные установки типа Д7-ОМГ; транспортеры типа ЦПГ; насосы типов НРМ-2, НШМ-10, 36МЦ-6-12, НМУ-6 и др.

Загрузчики башен типа РБВ-6; очистители шахтных колодцев типа ОШК-30.

Установки типа ОКВ-205 для профилактической обработки овец; оборудование электростригальных пунктов типов ВСЦ-24/200, КТО-24 и др.; станки типа СЧС-2 для очистки каракулевых шкур; молочные насосы доильных установок УДС-3А; воздухоподогреватели типа ВПТ; транспортеры типа ТПЭ-10А; дождевальная машина «Днепр», ДФ-120; насосные станции СНПЭ; водоподъемные установки типа ВУ.

Линии послеуборочной обработки овощей типов ПСК-6, ПМЛ-6, СЛС-7А, ЛПС-7А, ЛПС-6, СПТ-15, КСП-156, ЛСТ-10, ЛСБ-20, ПМЛ-10, ЛДК-30, ПКС-20, ЛДТ-40, ЛМК-5; транспортеры типов ТКС-6, СТ-2, ТТ-4, ТПП-30, ТК-3, ТК-5, ТЗК-30, ТПК-30, СТХ-30, ЛТ.

Станки для изготовления торфоперегнойных горшков типа ИГ-ОМ; машины для приготовления грунтов типа СТМ-8/20; оборудование станций для приготовления жидкостей типа СЗС-10.

Машины типов МПП-1,5, КМ-1, КМЦ, КУВ-1 для мойки плодов; машины типа МОС-300 для отмывки семян.

Опрыскиватели типа ОЗГ-120; станции для жидкой подкормки типа НСП-966; комплекты оборудования типа УТ-12УЗ, УТ-12ПУЗ для регулирования технологических процессов в теплицах; транспортеры парниковые типа ТП-5-30.

## **СУ1, ХУЗ, IP44**

*Особо сырые с химически активной средой по ГОСТ 19348-74 (животноводческие и птицеводческие помещения, склады минеральных удобрений, помещения протравливания семян).*

Бункера-дозаторы типа КТУ-20000; кормораздатчики типов ТВК-80А, РС-5А, КШ-0,5, РКА-1000, РКС-3000М, РК-50, КОО-5, КПС, КПГ, ОСО, ОСМ, ОСХ и др.; навозные транспортеры типов ТШ-2, ТСН-2Б, ТСН-3Б, ТСН-160, УС-10, УС-15, УСН-8, ТС-1, УПН-15, НПК-30, УВН-800 и др.; вагонетки типа ВНЭ-1Б; насосы типов НШ-50-1, НЖН-200; установки для выпойки телят типа УВН-20; комплекты оборудования для содержания телят типа ОСТ-50; оборудование клеточных батарей в кролиководстве; электрокалориферные агрегаты типа СФОА; приточно-вытяжные установки типа ПВУ; комплекты «Климат» и тепловентиляторы типов КПГ, КПС и ТВ; оборудование клеточных батарей типов КБН, ОБН, БКН-3, КБУ-3; транспортеры типа БЦМ; оборудование ОПП-2,0 для сушки птичьего помета и др.; инкубатор ИКП-90.

Измельчители минеральных удобрений типа ИСУ-4; транспортеры минеральных удобрений типа ИКС-80. Протравливатели семян типов ПСШ-3, ПС-10.

## **УПУЗ. IP54**

*Пыльные* (пункты послеуборочной обработки зерна и технических культур):

Зерносушилки типов ЗПБ, СЯ, СП, СА, СЗЦ-1,5 и др.; бункера типов Б-2, БВ, БСК; зернопогрузчики типов ЗМ-30, СПС-60; семеочистительные горки типа ОСГ-0,2А; зерноочистительные машины типов ОВА-1, ОВП-20А, ОС-4,5А, СМ-4, СУ-1; молотилки кукурузы типа МКП-3 и др., калибровщики кукурузы типа КСК-1; льноконоп-ляномялки типа МЛКУ-6А; агрегаты для приготовления травяной муки типа АВМ-0,4 и др.; приспособления типа АСК-50 для внесения антиоксидантов в травяную муку; оборудование комбикормовых заводов и агрегаты для приготовления травяной муки типов ОКЦ, ОПК, ОГК, ОГМ, ОЦК и др.; зерноочистительные агрегаты типов ЗАВ, ЗАР, АЗС, КЗС, КЗР, СП-10, СПЛ-5, КОС-0,5, СВУ-5К, ЗМС-1А, СП2 и др.; триерные блоки типа Б6Т-5 и др.; пневмосортировальные столы типа ПСС-2,5; скарификаторы типа СС-0,5; зерносушилки типов СЗСБ, СЗШ; транспортеры типов ТЗП-3, ПША-3А; нории типов НЦГ, ПНЗ-20 и др.; агрегаты типов ДПБ, ДСБ; сепараторы зерноочистительные типа ЗСМ; вальцевые станки

типа ЗМ; зернодробилки типов ДМ, ДМН-400У, ДБ-5 и др.; молотилки типов МК-150, МПСУ-500, МС-400; смесители типа СГК-1.

ГЛАВА **4** **Установка и обслуживание электродвигателей. Выбор типа защиты**  
**Определение показателей надежности**

Потребности сельского хозяйства в двигателях удовлетворяются за счет производства новых и ремонта вышедших из строя. Рост парка и ежегодных объемов капитальных ремонтов требует совершенствования технологии ремонта и улучшения его качества. Начинает развиваться централизованная форма ремонта. Повышение эксплуатационной надежности достигается за счет совершенствования вновь выпускаемых двигателей и улучшения системы плано-предупредительных ремонтов.

Для определения среднего срока службы двигателей в сельском хозяйстве воспользуемся моделью динамики парка. Парк двигателей в рассматриваемом году

$$П(t) = П(i) + \sum_{j=i}^t B(j) - \sum_{j=i}^t Y(j),$$

где  $П(i)$  — парк произвольного  $i$ -го года;  $\sum_{j=i}^t B(j)$  — суммарный выпуск от  $j$ -го года до рассматриваемого;  $\sum_{j=i}^t Y(j)$  — суммарное количество выбывших из парка двигателей.

Срок службы двигателей определяет «срок жизни парка». Это время  $\tau$ , за которое парк полностью обновляется. По известным значениям парка и выпуска можно определить количество выбывших из парка двигателей и затем средний срок службы двигателей (табл. 7).

Наблюдения за эксплуатацией двигателей в сельском хозяйстве проводятся с 1966 г. Срок службы двигателей в период 1966—1970 гг. в среднем составлял 2,5 года [36]. Ежегодный выход двигателей из строя составляет

Таблица 7

Годы	Парк двигателей, млн. шт.	Выпуск двигателей, млн. шт.	Количество вышедших из парка двигателей, млн. шт.	Средний срок службы двигателей, годы
1972	5,48	2,45	1,65	3,04
1973	6,28	2,65	1,74	3,08
1974	7,19	2,85	1,80	3,11
1975	8,24	3,05	1,89	3,15
1976	9,4	3,07	2,47	3,19
1977	10,0	3,15	2,45	3,26
1978	10,7	3,08	2,48	3,29
1979	11,3	3,2	2,50	—
1980	12,0	3,2	2,70	—
1981	12,5	3,3	2,70	—

Примечание. Так как серия 4А начала широко внедряться в сельское хозяйство только с 1978—1979 гг., приведенные данные относятся в основном к двигателям серии ЛОЗ.

20—30 % от парка, наибольший процент выхода падает на животноводство. За 15 лет накоплен статистический материал, позволяющий следить за динамикой эксплуатационной надежности.

Для оценки эксплуатационной надежности и получения достоверной, своевременной, полной и сопоставимой информации необходима определенная методология, а также организация ее сбора и обработки. С этой целью во ВНИПТИЭМ разработаны руководящие технические материалы (РТМ 16.689.152-74) «Методика сбора, кодирования и статистической обработки информации об эксплуатационной надежности электродвигателей». В основу их положены метод наблюдения за эксплуатацией двигателей организациями-соисполнителями (разработчиками двигателей, учебными институтами, заводами-изготовителями) и обработки материалов головным научно-исследовательским институтом. Записи наблюдений за эксплуатацией заносятся в однотипные журналы учета режимов работы и условий эксплуатации двигателей. Записи включают: типоразмер двигателя; год выпуска; наименование предприятия-изготовителя; вид защиты; тип пусковой аппаратуры; вид сочленения с нагрузкой; режим работы по ГОСТ 183-74; число пусков в час; длительность пуска, с; коэффициент загрузки, %; скорость вибрации, мм/с; место установки; температуру окружающей среды, °С; влажность воздуха, %; загазованность,

мг/м<sup>3</sup>; запыленность, мг/м<sup>3</sup>; наименование эксплуатирующего предприятия; дату ввода в эксплуатацию; дату отказа; продолжительность работы в сутки, ч; наработку, ч; причину отказа; вид ремонта; время восстановления; стоимость восстановления.

Полученные данные обрабатываются на ЭВМ по программам для полных и усеченных выборок. Полной называется выборка, в которой все двигатели имеют отказы, усеченной — выборка, в которой не все двигатели имеют отказы, а наблюдения прекращены.

За основной показатель надежности принимаются точечная оценка вероятности безотказной работы  $P(t)$  и её доверительные границы (доверительная вероятность границ  $P^*$  принята равной 0,8). Расчет точечных оценок вероятности безотказной работы проводится следующим образом: время наблюдений разбивается на интервалы; для каждого интервала определяется количество отказавших двигателей  $n_i$  и количество неотказавших  $m_i$  с временем наработки, соответствующим данному интервалу. Затем рассчитывается объем выборки  $N_i$  на время  $t_i$

$$N_i = N - \sum_1^i n_i - \sum_1^i m_i,$$

где  $N$  — первоначальный объем выборки.

Для каждого интервала рассчитывается точечная оценка вероятности отказа  $\hat{q} = n_i/N_i$ . Вычисляется точечная оценка вероятности безотказной работы в интервале  $\hat{p}_i = 1 - \hat{q}_i$ . Вероятность безотказной работы к моменту времени  $t_i$  будет равна  $P_i = \prod_1^i \hat{p}_i$ .

При заданной доверительной вероятности  $P^*$  доверительная граница вероятности отказа в  $i$ -м интервале [39]

$$q = \frac{2x}{\frac{2}{t} + x - [2(a^2 - 1) + (a - 1)x + x^2] \frac{t}{6}},$$

где для верхней границы  $q'$

$a = n_i + 1$ ,  $1/t = 2N_i - n_i$ ,  $x = x [100(1 - P^*)\%; 2n_i + 2]$ ;

для нижней границы  $q''$

$$a = n_i, \quad 1/t = 2N_i - n_i - 1, \quad x = x(100P^*\%; 2n_i);$$

100  $P^*\%$  — точка  $\chi^2$ -распределения с  $2n_i$  степенями свободы.

Доверительные границы для вероятности безотказной работы в  $i$ -м интервале соответственно равны:

$$p'_i = 1 - q'_i, \quad p''_i = 1 - q''_i,$$

а к моменту времени  $t_i$

$$P'_i = \prod_1^i p'_i, \quad P''_i = \prod_1^i p''_i.$$

Обработка информации на ЭВМ включает: расчет наработки каждого двигателя (по датам ввода в эксплуатацию и отказа); определение категории условий эксплуатации; расчет показателей надежности представленных выборок; поиск и расчет показателей надежности выборок с заданным признаком.

Предложенная методика сбора и обработки информации по эксплуатационной надежности была использована для получения показателей надежности электродвигателей (табл. 8).

Вероятность безотказной работы и ее доверительные границы для электродвигателей серии АО2 основного исполнения, эксплуатирующихся в сельском хозяйстве Владимирской области

Т а б л и ц а 8

Номер выборки	Объем выборки	Вероятность безотказной работы за 5000 ч	Доверительные границы		Вероятность безотказной работы за 10 000 ч	Доверительные границы		Вероятность безотказной работы за 20 000 ч	Доверительные границы	
			верхняя	нижняя		верхняя	нижняя		верхняя	нижняя
1	95	0,843	0,901	0,793	0,531	0,573	0,459	0,354	0,474	—
2	96	0,934	0,945	0,866	0,578	0,764	0,687	0,295	0,601	—
3	93	0,705	0,776	0,626	0,495	0,620	0,368	0,179	0,442	—
4	97	0,900	0,952	0,851	0,664	0,757	0,600	0,372	0,487	—
Среднее		0,85			0,57			0,30		

Отдельно был организован сбор информации по надежности двигателей сельскохозяйственного исполнения серии АО2. Объем выборки 77 шт., из них 25 шт. 5-го—7-го габаритов; 52 шт. 3-го—4-го габаритов; 36 шт. установлены в животноводческих помещениях, 8 шт. — под навесом и на открытом воздухе, 20 шт. — на зерно-

токах и кормоцехах, 9 шт. — на водонасосных станциях, 7 шт. — в мастерских. Эти места установки охватывают наиболее типичные среды сельскохозяйственного производства. Распределения по типу оборудования, для привода которого служат электродвигатели, следующие: вентиляторы 27 шт., насосы 20 шт., зерноочистительные и кормоприготовительные машины 21 шт., транспортеры 11 шт.

Аналогичные наблюдения были установлены за электродвигателями с температурной защитой при ее разработке. По результатам наблюдений разрабатывались мероприятия по повышению их надежности.

Усредненные данные расчета вероятности безотказной работы на 20 000 ч электродвигателей различных исполнений серии АО2, эксплуатирующихся в сельском хозяйстве, составили: основное исполнение 0,30; сельскохозяйственные 0,65; сельскохозяйственные с встроеной температурной защитой 0,86.

Анализ результатов наблюдений выявил ряд конструктивных недостатков сельскохозяйственных двигателей, учтенных при разработке серии 4А: ненадежное крепление внутреннего вентилятора и отсутствие ограничителя на валу ротора, препятствующего его продольному перемещению; ненадежное крепление корпуса вводного устройства; недостаточный радиус литейного углубления, затрудняющий затяжку болтов, и др.

С разработкой двигателей серии 4А по данным наблюдений за эксплуатацией в хозяйствах Челябинской, Курганской, Минской, Харьковской, Московской и Владимирской областей [16, 19, 20, 26, 32] средний срок службы увеличился до 4,5 лет. При этом вероятность безотказной работы составляет 0,871 за 10 000 ч при доверительной вероятности 0,8. Ежегодный выход из строя сократился до 15—20 %.

Ниже приведены причины преждевременных отказов двигателей в сельском хозяйстве.

	Количество отказов по отношению к общему числу отказов, %
Отсутствие защиты или несоответствие ее параметров параметрам двигателя . . . . .	42
Неудовлетворительный монтаж двигателя . . . . .	30
Несоответствие исполнения двигателя условиям эксплуатации . . . . .	20
Заводские дефекты . . . . .	8



## Данные по отказам двигателей серии 4А

Механизмы	Количество наблюдаемых двигателей, шт.	Процент выхода из строя	Причины						
			Заклинивание ротора	Потеря фазы	Перегрузки	Разрушение подшипников	Несоответствие условиям окружающей среды	Заводские дефекты	Прочие
Кормораздатчики	39	43,6	29,4	—	11,8	—	29,4	8,3	21,1
Насосы	34	64,7	13,6	22,7	4,5	9,1	36,4	9,2	4,5
Вакуум-насосы	26	15,4	75,0	—	—	—	25,0	—	—
Навозные транспортеры	68	23,5	68,8	18,8	6,3	—	—	3,1	3,0
Шнеки	38	5,3	100	—	—	—	—	—	—
Смесители	16	56,2	11,1	—	22,2	—	55,6	11,1	—
Вентиляторы	50	26,5	7,7	46,2	—	30,7	7,7	3,4	4,3
	12	16,7	50,0	—	50,0	—	—	—	—
Прочие	101	15,8	18,8	12,5	18,8	12,5	24,9	6,0	6,5
Итого:	383	26,4	29,7	15,9	9,9	7,9	22,8	6,0	7,8

Эти данные в среднем подтверждаются конкретными сведениями по контрольным наблюдениям за эксплуатацией 383 двигателей серии 4А, собранными ВИЭСХ, по группам механизмов в период 1978—1982 гг. [38] (табл. 9).

В ближайшее десятилетие основная номенклатура сельскохозяйственных машин не изменится: в животноводстве — кормораздаточные и навозоуборочные транспортеры, вакуум-насосы, кормозапарники и варочные котлы, измельчители и смесители кормов, агрегаты для приготовления заменителя молока; в овцеводстве — стригальные и точильные машины; в птицеводстве — клеточные батареи, приточно-вытяжные установки, комплекты «Климат», яйцесортировочные и моечные машины; в растениеводстве — зерноочистительные и семеочистительные машины, установки активного вентилирования зерна, бункера-накопители; в тепличном хозяйстве — насосные

станции, дождевальные установки; в комбикормовом производстве — агрегаты витаминной муки, сенажные башни, брикетировщики и грануляторы, дробилки, мельницы, соломосилосорезки, корнерезки, питатели.

Поэтому вопросы по выбору и техническому обслуживанию будут и в дальнейшем иметь важное практическое значение и должны закрепляться соответствующими нормативными документами (инструкциями, руководящими техническими материалами, ОСТ, ГОСТ).

Рациональное применение двигателей различных исполнений в зависимости от условий их эксплуатации и режимов работы позволяет добиваться более высоких показателей надежности и эффективности использования. Оценка народнохозяйственного эффекта при замене электродвигателя одного исполнения другим, руб., определяется по формуле [40]

$$\mathcal{E} = [C_6(a - 1) - (\Delta C + E_n \Delta K)] + \frac{u'_6 - u'_n}{P_{ам} + E'_n} + (K'_6 - K'_n),$$

где  $C_6$  — цена базисного электродвигателя, руб.;  $E_n$  — нормативный коэффициент экономической эффективности в отрасли (установлен равным 0,15);  $\Delta C$  — изменение себестоимости производства электродвигателя нового типа по сравнению с фактической себестоимостью базисного электродвигателя;  $\Delta K$  — удельные дополнительные капитальные затраты, связанные с созданием и организацией производства новых электродвигателей (рассчитывается исходя из общих капитальных затрат и объема производства новых электродвигателей на второй год серийного выпуска);  $P_{ам}$  — норма амортизации для электродвигателей (установлена равной 0,167);  $K'_6$ ,  $K'_n$  — дополнительные затраты потребителя на производство базисного и нового типов электродвигателя;  $u'_6$ ,  $u'_n$  — годовые текущие издержки у потребителя без учета отчислений на амортизацию;  $a$  — коэффициент эквивалентности нового электродвигателя базисному ( $a = a_1 a_2$ );  $a_1$  — коэффициент, учитывающий влияние изменения технико-экономического уровня нового типа электродвигателя;  $a_2$  — коэффициент, характеризующий повышение уровня надежности:

$$a_2 = \frac{1/T_6 + E'_n}{1/T_n + E'_n};$$

$T_6$ ,  $T_H$  — сроки службы соответственно базисного и нового типа электродвигателя.

При внедрении в эксплуатацию двигателей сельскохозяйственного исполнения народнохозяйственный эффект в 1980 г. составил для двигателей с высотами оси вращения 112—200 мм около 10 млн. руб., а с высотами 100—112 мм (с температурной защитой) 0,39 млн. руб. [18].

## **Нормативные документы по эксплуатации**

До настоящего времени правила эксплуатации, технического обслуживания и ремонта двигателей регламентировались инструкциями по эксплуатации, выпускаемыми предприятиями-изготовителями, а также единой системой планово-предупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технологического оборудования машиностроительных предприятий, системой планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования, используемого в сельском хозяйстве [10, 29]. При этом система имела следующие недостатки:

1. Не учитывались конкретные условия эксплуатации двигателей и продолжительность ремонтных циклов.

2. Отсутствовала увязка ремонтных циклов с показателями надежности двигателей, повышавшимися за счет совершенствования конструкции, технологии изготовления асинхронных двигателей и использования новых высококачественных материалов.

Поэтому особенно остро стоял вопрос о создании единого нормативного документа, оговаривающего все правила эксплуатации двигателей и повышающего ответственность потребителей за их соблюдение.

Целями разработки стандарта являются: обеспечить в эксплуатации показатели надежности двигателей, заложенные на стадии их проектирования и изготовления, а также снизить расходы на техническое обслуживание и ремонт.

В настоящее время разработаны и внедрены такие документы, как РТМ 105/23/46/70/16 : 0-153-81 «Выбор

двигателей в зависимости от условий окружающей среды» и ОСТ 16.0.510.037-78 «Двигатели трехфазные асинхронные. Правила эксплуатации».

В стандарте определяются структура ремонтного цикла, объем и периодичность технического обслуживания и ремонтов двигателей. Отличительными особенностями в сравнении с действующими инструкциями и положениями являются увеличение продолжительности ремонтного цикла для нормального режима работы, сокращение количеств технического обслуживания и текущих ремонтов, исключение среднего ремонта.

Продолжительности ремонтного цикла и межремонтных периодов даны в зависимости от конкретных условий эксплуатации. С этой целью условия эксплуатации двигателей подразделяются на четыре группы: легкая, нормальная, жесткая и особо жесткая (табл. 10). При нормальных условиях эксплуатации все воздействующие факторы имеют значения, на которые двигатель спроектирован. Легкие условия эксплуатации означают, что значения одного или нескольких факторов отклоняются от номинальных в сторону улучшения. При жестких условиях значение одного из воздействующих факторов превышает номинальное, оказывая значительное влияние на надежность двигателя. В особо жестких условиях эксплуатации значения двух или более факторов превышают номинальные. Очевидно, что от группы условий эксплуатации зависят показатели надежности двигателей.

Количественные значения факторов, определяющих категорию эксплуатации, обусловлены проверенным ана-

Т а б л и ц а 10

Группа условий эксплуатации по ОСТ 16.0.510.037-78	Режим работы по ГОСТ 183-74	Число включений в час при высоте оси вращения двигателя, мм		Продолжительность пуска, с	Виброускорение, м/с <sup>2</sup>
		до 132 мм	свыше 132 мм		
Легкая	S1 S1(S3, S6, S2)*	До 10	1—2	До 1 1	До 0,5 До 0,5
Нормальная		10—100	1—2		
Жесткая, особо жесткая	S4, S5	Свыше 100	До 10	Свыше 10	Свыше 0,5

Группа условий эксплуатации по ОСТ 16.0.510.037-78	Коэффициент загрузки по мощности	Категория места установки по ГОСТ 15150-69	Загазованность, г/м <sup>3</sup> , по ГОСТ 19348-74			Запыленность, мг/м <sup>3</sup>
			химические реагенты	длингельно	120 сут в году по 5 ч в сутки	
Легкая	До 1	4	Меньше нормы			До 2
Нормальная	До 1		Норма:			До 10
			аммиак	0,03	0,09	
			сероводород	0,03	0,08	
			углекислый газ	7,8	14,7	
Жесткая, особо жесткая	Свыше 1	1,2**	Свыше нормы			Свыше 10

\* Режимы, указанные в скобках, по наблюдениям на практике, могут быть отнесены к нормальной группе условий эксплуатации.

\*\* Для особо жестких условий категория места установки 1, 2, 5.

лизом влияния их на надежность. Вероятность безотказной работы за 20 000 ч составляет:

Группа условий эксплуатации . . . . .	Легкая	Нормальная	Жесткая	Особо жесткая
Вероятность безотказной работы . . . . .	0,85	0,65	0,45	0,20

Для того, чтобы приблизить эти показатели при нормальных условиях эксплуатации к расчетному значению, равному 0,8 за 20 000 ч наработки, следует при выборе двигателей либо защищать их от соответствующих воздействующих факторов, либо менять периодичность технического обслуживания и ремонтов.

Стандарт предусматривает следующие виды работ в ремонтном цикле: два вида технического обслуживания, текущий и капитальный ремонты. Первый вид технического обслуживания включает наружный осмотр, проверку контура заземления, проверку наличия, соответствия и исправности пускозащитной аппаратуры, оценку вибрации, шума двигателя и нагрева корпуса. Этот вид об-

служивания рекомендуется проводить при нормальных условиях работы раз в месяц.

Второй вид технического обслуживания включает протирку и чистку доступных частей двигателей и отверстий кожуха вентилятора, проверку механических креплений двигателей к месту установки, муфт или шкивов на валу, подшипниковых щитов и крышек, состояния контактов двигателя и пусковой аппаратуры, измерение сопротивления изоляции, уровня вибрации и шума, замену или пополнение смазки в подшипниках. Этот вид обслуживания при нормальных условиях работы целесообразно проводить раз в полгода.

Текущий ремонт должен проводиться при замеченных отклонениях или неисправностях. Он включает демонтаж двигателей, промывку, чистку и сушку деталей, осмотр статора и ротора, выявление деталей, подлежащих замене, восстановлению и пригонке, сборку, замену подшипников или смазки в подшипниках, проверку сопротивления изоляции и крепежных соединений, монтаж на установку и пробный пуск. Ориентировочная периодичность текущих ремонтов при нормальных условиях работы 40 мес. Капитальный ремонт проводится при выходе двигателей из строя, включает все операции текущего ремонта и дополняется заменой обмотки. Экономически нецелесообразно ремонтировать двигатели с высотой оси вращения менее 132 мм [19].

При нормальных условиях эксплуатации средний расчетный срок службы двигателей серии 4А по ГОСТ 19523-81 — 15 лет.

Периодичность операций технических обслуживаний и ремонтов при других условиях эксплуатации и сменности определяется умножением указанной выше периодичности ремонта на поправочный коэффициент

$$K = K_3 K_C,$$

где  $K_3$  — коэффициент, учитывающий условия эксплуатации;  $K_C$  — коэффициент, учитывающий сменность работы.

Коэффициент  $K_3$ , полученный по статистическим данным показателей надежности, равен:

Группа условий эксплуатации . . . . .	Легкая	Нормальная	Жесткая	Особо жесткая
$K_3$ . . . . .	1,25	1,0	0,70	0,30

Коэффициент  $k_c$  по данным Львовского политехнического института равен:

Сменность работы . . . . .	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50
$k_c$ . . . . .	8,0	4,0	2,7	2,0	1,6	1,35
Сменность работы . . . . .	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00
$k_c$ . . . . .	1,13	1,00	0,90	0,80	0,73	0,60

При работе двигателей в пыльных помещениях рекомендуется проводить ежесменную протирку или чистку доступных частей, а у двигателей влагоморозостойкого исполнения, работающих на открытом воздухе или в помещениях с повышенной влажностью, необходимо проводить измерение сопротивления изоляции не реже 1 раза в месяц и при необходимости производить ее сушку.

Для защиты двигателей, работающих на открытом воздухе, от прямого попадания атмосферных осадков и солнечной радиации двигатели рекомендуется закрывать специальными кожухами.

После окончания сезонных работ двигатели рекомендуется подвергать консервации. Некоторые положения из ОСТ на правила эксплуатации будут пересматриваться при разработке ГОСТ. В частности, будут учтены последние разработки ВИАЭСХ по установлению оптимальной периодичности проведения профилактических мероприятий с учетом ущерба и времени использования двигателей.

## Пускозащитная аппаратура

Стандарт запрещает эксплуатацию двигателей без пускозащитной аппаратуры. Пускозащитная аппаратура должна соответствовать мощности и характеристикам двигателей. Не допускается использовать завышенную по мощности пускозащитную аппаратуру во избежание увеличения коммутационных перенапряжений.

Процент выхода из строя двигателей в сельском хозяйстве может быть значительно снижен, если двигатели будут снабжены защитой от перегрузок, неполнофазных режимов и токов короткого замыкания.

Там, где контролируется защита и обеспечено качественное обслуживание двигателей, высока их эксплуатационная надежность. Так, на свинокомплексе «Кутузовский» (Московская область) вероятность безотказной работы составляет 0,95 за 12 000 ч наработки, т. е. выше, чем предусмотрено ГОСТ 19523-81. В то же время на

других аналогичных комплексах она не превышает 0,55. Исследованиями, проведенными ВИЭСХ и его филиалами в Смоленской и Тамбовской областях, было установлено, что только 10 % двигателей имеют защиту, соответствующую параметрам двигателей. В остальных же 90 % защита либо вообще отсутствует, либо характеристика защитных устройств не соответствует параметрам двигателей и защита практически не обеспечивается.

Наиболее распространенный комплекс защитной аппаратуры двигателей для сельскохозяйственных приводов состоит из предохранителей, защищающих от токов короткого замыкания, и тепловых реле для защиты от перегрузок и обрывов фаз. Плавкие вставки предохранителей, например, серии ПРС (с номинальным током вставки 15, 20, 25 А) должны выдерживать ток  $1,3 I_{ном}$  и плавиться при токе  $1,8 I_{ном}$ , однако из-за больших выбросов по номинальному току (или времени срабатывания) плавкие предохранители не обеспечивают должную защиту двигателей. Например, при перегрузке до 60 % они не отключают двигатель в течение 1 ч. Кроме того, предохранители сами являются причиной аварийных ситуаций, так как при перегорании одного из них двигатель продолжает работать на двух фазах. Эффективность защиты плавкими предохранителями существенно снижается из-за того, что колхозы и совхозы, не имея в достаточном количестве и ассортименте калиброванные плавкие вставки, вынуждены применять «отремонтированные» предохранители.

Для защиты от перегрузок и от работы на двух фазах в сельскохозяйственных приводах предусмотрено применение тепловых реле ТРП и ТРН. Однако реле обладают целым рядом несовершенств, их параметры срабатывания нестабильны во времени [2, 4, 13]. Для надежной защиты двигателей тепловые реле должны быть тщательно отрегулированы и иметь соответствующие нагреватели. Между тем имеют место случаи, когда магнитные пускатели с реле ТР (рис. 5) поставляются вообще без нагревателей, а реле ТРН и ТРП имеют один комплект нагревателей. Обследование установило, что, например, в хозяйствах Челябинской области 90 % реле не настроено или вообще отсутствует [2]. Аналогичное положение отмечается в исследованиях ВСХИЗО [32].

Токовая защита лишь частично решает проблему защиты двигателей и совсем не пригодна при работе двига-



телей в режимах с повторно-кратковременной и резко выраженной случайно-переменной нагрузкой. Она также не защищает двигатель при нарушении охлаждения вследствие засорения вентиляционных отверстий, загрязнения корпуса или поломки вентилятора.

В последнее время разработана и внедрена встроенная температурная защита, которая реагирует непосредственно на превышение температуры обмотки.

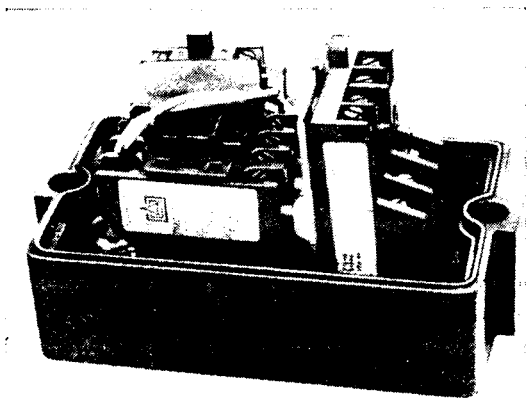


Рис. 5. Магнитный пускатель ПМЛ с тепловым реле РТ

В качестве температурных датчиков применяются позисторы СТ14-2, которые выпускаются на следующую температуру срабатывания: 115, 130, 145, 160 °С.

В зависимости от мощности двигателей серии 4А применяют позисторы СТ14-2-130, СТ14-2-145, СТ14-2-160.

Максимальная эффективность встроенной температурной защиты может быть достигнута, если позисторы будут установлены в месте обмотки статора, имеющем максимальное значение температуры при работе двигателя в номинальном и аварийном режимах. На основании проведенных исследований на двигателях серий АО2 и 4А было установлено, что наиболее нагретым участком при работе двигателей в продолжительном режиме S1, в повторно-кратковременном режиме S3, в аварийных ситуациях являются лобовые части со стороны выступающего конца вала. Позисторы устанавливаются по одно-

му в каждую фазу обмотки; начало и конец последовательно соединенных трех позисторов выведены в вводное устройство двигателя. Эксплуатационные испытания показали высокую надежность встраиваемой температурной защиты для асинхронных двигателей.

Температурная защита не требует настройки, что имеет место у тепловых реле, и весьма эффективна при работе двигателей с частыми пусками, при ухудшении условий охлаждения, при отклонениях температуры окружающей среды от допускаемых значений.

Двигатели комплектуются устройством защиты типа УВТЗ-1. В настоящее время разработано модернизированное устройство типа УВТЗ-1М. Его отличительные особенности:

а) повышенная чувствительность и защищенность от помех;

б) небольшие габариты, позволяющие устанавливать его практически в любой магнитный пускатель отечественного производства вместо применяемых до сих пор тепловых реле типа ТРН;

в) наличие размыкающего контакта исполнительного реле, позволяющее эффективно использовать устройство в автоматических системах при частых включениях двигателя;

г) большой гарантийный срок службы;

д) малое влияние температуры окружающей среды и значения питающего напряжения на точность срабатывания;

е) сравнительно малая стоимость.

Недостатком защиты является хрупкость позисторов, кроме того, введение в двигатель дополнительных элементов снижает его надежность.

Для защиты двигателей от неполнофазных режимов работы в Латвии находит применение фазочувствительная защита, разработанная Латвийской сельскохозяйственной академией. Работа фазочувствительной защиты основана на следующем принципе (рис. 6).

С помощью двух трансформаторов тока  $TP1$  и  $TP2$  в фазочувствительном устройстве формируются два вспомогательных напряжения, разность фаз которых при полнофазном режиме работы  $\varphi = \pi/2$ . При аварийных неполнофазных режимах  $\varphi = 0$  или  $\pi$ . При таком фазовом сдвиге реле защиты срабатывает и своим размыкающим контактом выключает магнитный пускатель.

Фазочувствительные устройства защиты выпускаются четырех типоразмеров (габаритов):

Типоразмер фазочувствительного устройства	ФУЗ1	ФУЗ2	ФУЗ3	ФУЗ4
Номинальная мощность защищаемого двигателя, кВт . . .	0,6—1,1	1,5—2,8	3,0—5,5	7,0—13,0

Для защиты двигателей большей мощности фазочувствительные устройства включаются через типовые трансформаторы тока. Разработаны модернизированные варианты для защиты двигателей не только от неполнофазных режимов, но и от перегрузок.

Опыт эксплуатации этой защиты показал, что в целом по Латвии выход из строя электродвигателей снизился с 20 % в 1976 г. до 7 % в 1978 г., а в некоторых хозяйствах до 1—2 %.

Реле защиты двигателей РЗД, разработанные ВНИИР, основаны на том же принципе работы, что и фазочувствительная защита, но в другом варианте. Разработаны шесть типов РЗД на различные номинальные токи:

Типоразмер фазочувствительной защиты РЗД . . . .	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6
Ток короткого замыкания защищаемого двигателя, А . . .	2	4	6	8	24	48

Основное назначение РЗД — защищать двигатели от неполнофазных режимов и токов короткого замыкания. При выборе типа защиты следует рассматривать двигатель как комплектующее изделие в конкретном механизме

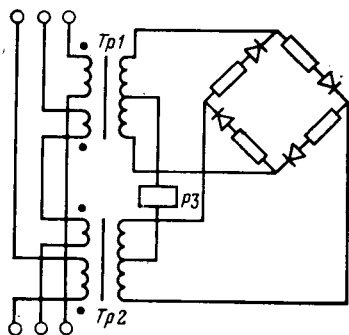


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема фазочувствительного защитного устройства

Механизмы	Характер нагрузки	Защита
Вентиляторы, воздуходувки, газодувки, дымососы, нагнетатели, компрессоры, насосы	Постоянный	Токовая
Насосы горячих жидкостей	Постоянный	Температурная
Станки обрабатывающие	Постоянный	Токовая
Транспортеры, конвейеры, элеваторы, шнеки	Переменный с частыми пусками	Фазочувствительная, температурная
Грузоподъемные машины, тельферы, краны, лебедки, лифты, клетки	Постоянный	Токовая
Манипуляторы, кантователи, опрокидыватели, толкатели	Переменный, возможны аварийные перегрузки	В зависимости от частоты и длительности аварийных перегрузок, температурная, фазочувствительная
Задвижки, затворы, клапаны, переключатели, механизмы зажима, тормоза	Постоянный	Токовая
Смесители, скребковые механизмы, глиномялки	С частыми пусками	Температурная, фазочувствительная
Центрифуги, классификаторы, разделители, сепараторы	Переменный, без резко выраженных перегрузок	Токовая
Машины барабанного типа	Переменный, кратковременные перегрузки по моменту	Температурная, фазочувствительная при возможных заклиниваниях
Зачистные, шлифовальные, щеточные, моющие машины	Переменный	Фазочувствительная
	Постоянный	Токовая
	Перегрузки возможны, но редки	То же
	Постоянный	» »

Механизмы	Характер нагрузки	Защита
Кузнечно-прессовые машины, молоты, ножи, прессы, штамповочные машины	Переменный, с частыми пусками	Температурная
Кривошипные и эксцентриковые машины, колебатели	Переменный	Фазочувствительная
Дробилки, мельницы, молотилки, измельчители	Резкопеременный	Температурная, фазочувствительная

ме и конкретной отрасли. Анализ следует проводить в нескольких аспектах:

последствия отказа и последствия срабатывания защиты;

особенности технологического процесса с точки зрения возникновения наиболее типичных аварийных ситуаций;

режим работы двигателя, качество сетей;

специфичность внешней среды по климатическим условиям и запыленности.

В табл. 11 приведены рекомендуемые виды защит для конкретных механизмов.

Большая часть сельскохозяйственных механизмов допускает применение всех видов защит, рассмотренных выше. В животноводческих комплексах, где выход двигателя из строя ведет к большим материальным издержкам, требования к защите резко возрастают и тепловые реле желательно не применять.

При оценке аварийных ситуаций следует учитывать характер нагрузки. При постоянных нагрузках достаточно теплового реле с соблюдением правил его эксплуатации (правильность подбора и регулярность подстройки); при случайно-переменных нагрузках самой целесообразной является фазочувствительная защита, при температурах окружающей среды, превышающих допустимую, самой эффективной является встроенная температурная защита (применяется для насосов с горячей водой, котельного оборудования, мукомольных агрегатов).

Технические данные двигателей серии 4А сельскохозяйственного исполнения

Типоразмер двигателя	Номинальная мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	При номинальном режиме									
			КПД, %	Кэффи-циент мощности	I <sub>пуск</sub>	I <sub>ном</sub>	M <sub>пуск</sub>	M <sub>ном</sub>	M <sub>тп</sub>	M <sub>ном</sub>	M <sub>max</sub>	M <sub>ном</sub>

Основное исполнение

4AA50A2CY1	0,09	3000	60,0	0,70	5,0	2,0	1,2	2,2
4AA50B2CY1	0,12	3000	63,0	0,70	5,0	2,0	1,2	2,2
4AA50A4CY1	0,06	1500	50,0	0,60	5,0	2,0	1,2	2,2
4AA50B4CY1	0,09	1500	55,0	0,60	5,0	2,0	1,2	2,2
4AA56A2CY1	0,18	3000	66,0	0,76	5,0	2,0	1,2	2,2
4AA56B2CY1	0,25	3000	68,0	0,77	5,0	2,0	1,2	2,2
4AA56A4CY1	0,09	1500	63,0	0,66	5,0	2,0	1,2	2,2
4AA56B4CY1	0,12	1500	64,0	0,64	5,0	2,0	1,2	2,2
4AA63A2CY1	0,37	3000	70,0	0,86	5,0	2,0	1,2	2,2
4AA63B2CY1	0,55	3000	73,0	0,86	5,0	2,0	1,2	2,2
4AA63A4CY1	0,25	1500	68,0	0,65	5,0	2,0	1,2	2,2
4AA63B4CY1	0,37	1500	68,0	0,69	5,0	2,0	1,2	2,2
4AA63A6CY1	0,18	1000	56,0	0,62	4,0	2,0	1,2	2,2
4AA63B6CY1	0,25	1000	59,0	0,62	4,0	2,0	1,2	2,2
4A71A2CY1	0,75	3000	77,0	0,87	5,5	2,0	1,2	2,2
4A71B2CY1	1,10	3000	77,5	0,87	5,5	2,0	1,2	2,2
4A71A4CY1	0,55	1500	70,5	0,70	4,5	2,0	1,6	2,2
4A71B4CY1	0,75	1500	72,0	0,73	4,5	2,0	1,6	2,2
4A71A6CY1	0,37	1000	64,5	0,69	4,0	2,0	1,6	2,2
4A71B6CY1	0,55	1000	67,5	0,71	4,0	2,0	1,6	2,2
4A80A2CY1	1,50	3000	81,0	0,85	6,5	2,0	1,2	2,2
4A80B2CY1	2,20	3000	83,0	0,87	6,5	2,0	1,2	2,2
4A80A4CY1	1,10	1500	75,0	0,81	5,0	2,0	1,6	2,2
4A80B4CY1	1,50	1500	77,0	0,83	5,0	2,0	1,6	2,2
4A80A6CY1	0,75	1000	69,0	0,74	4,0	2,0	1,6	2,2
4A80B6CY1	1,10	1000	74,0	0,74	4,0	2,0	1,6	2,2
4A90L2CY1	3,00	3000	84,5	0,88	6,5	2,0	1,2	2,2
4A90L4CY1	2,20	1500	80,0	0,83	6,0	2,0	1,6	2,2
4A90L6CY1	1,50	1000	75,0	0,74	5,5	2,0	1,6	2,2
4A100S2CY1	4,00	3000	86,5	0,89	7,5	2,0	1,2	2,2
4A100L2CY1	5,50	3000	87,5	0,91	7,5	2,0	1,2	2,2
4A100S4CY1	3,00	1500	82,0	0,83	6,5	2,0	1,6	2,2
4A100L4CY1	4,00	1500	84,0	0,84	6,5	2,0	1,6	2,2
4A100L6CY1	2,20	1000	81,0	0,73	5,5	2,0	1,6	2,2
4A112M2CY1	7,50	3000	87,5	0,88	7,5	2,0	1,0	2,2
4A112M4CY1	5,50	1500	85,5	0,85	7,0	2,0	1,6	2,2

Типоразмер двигателя	Номинальная мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	При номинальном режиме							
			КПД, %	Коэффициент мощности	I		M		M <sub>пиз</sub>	
					I <sub>пуск</sub>	I <sub>ном</sub>	M <sub>пуск</sub>	M <sub>ном</sub>	M <sub>пиз</sub>	M <sub>ном</sub>
4A112MA6CY1	3,00	1000	81,0	0,76	6,0	2,0	1,6	2,2		
4A112MB6CY1	4,00	1000	82,0	0,81	6,0	2,0	1,6	2,2		
4A132M2CY1	11,00	3000	88,0	0,90	7,5	1,6	1,0	2,2		
4A132S4CY1	7,50	1500	87,5	0,86	7,5	2,0	1,6	2,2		
4A132M4CY1	11,00	1500	87,5	0,87	7,5	2,0	1,6	2,2		
4A132S6CY1	5,50	1000	85,0	0,80	7,0	2,0	1,6	2,2		
4A132M6CY1	7,50	1000	85,5	0,81	7,0	2,0	1,6	2,2		
4A160S4CY1	15,0	1500	88,5	0,88	7,0	1,4	1,0	2,2		
4A160M4CY1	18,5	1500	89,5	0,88	7,0	1,4	1,0	2,2		
4A160S6CY1	11,0	1000	86,0	0,86	6,0	1,2	1,0	2,0		
4A160M6CY1	15,0	1000	87,5	0,87	6,0	1,2	1,0	2,0		
4A180S4CY1	22,0	1500	90,0	0,90	7,0	1,4	1,0	2,2		
4A180M4CY1	30,0	1500	90,5	0,90	7,0	1,4	1,0	2,2		
4A180M6CY1	18,5	1000	88,0	0,87	6,0	1,2	1,0	2,2		
4A200M4CY1	37,0	1500	91,0	0,90	7,0	1,4	1,0	2,2		
4A200L4CY1	45,0	1500	92,0	0,90	7,0	1,4	1,0	2,2		
4A200M6CY1	22,0	1000	90,0	0,90	6,5	1,2	1,0	2,0		
4A200L6CY1	30,0	1000	90,5	0,90	6,5	1,2	1,0	2,0		

## С повышенным пусковым моментом

4AP160S4CY1	15,0	1500	87,5	0,87	7,5	2,0	1,6	2,2		
4AP160M4CY1	18,5	1500	88,5	0,87	7,5	2,0	1,6	2,2		
4AP160S6CY1	11,0	1000	85,5	0,83	7,0	2,0	1,6	2,2		
4AP160M6CY1	15,0	1000	87,5	0,83	6,0	2,0	1,6	2,2		
4AP180S4CY1	22,0	1500	90,0	0,87	7,5	2,0	1,6	2,2		
4AP180M4CY1	30,0	1500	90,0	0,87	7,5	2,0	1,6	2,2		
4AP180M6CY1	18,5	1000	87,0	0,80	6,0	2,0	1,6	2,2		
4AP200M4CY1	37,0	1500	91,0	0,88	7,5	2,0	1,6	2,2		
4AP200L4CY1	45,0	1500	92,0	0,88	7,5	2,0	1,6	2,2		
4AP200M6CY1	22,0	1000	90,5	0,85	6,5	2,0	1,6	2,2		
4AP200L6CY1	30,0	1000	90,5	0,86	6,5	2,0	1,6	2,2		

## Многоскоростные

4A56A4/2CY1	0,10	1500	45,0	0,61	3,5	1,8	1,8	2,2		
	0,14	3000	50,0	0,70	4,0	1,5	1,5	2,2		
4A56B4/2CY1	0,12	1500	49,0	0,62	3,5	1,6	1,6	2,2		
	0,18	3000	57,0	0,72	4,0	1,2	1,2	2,2		
4A63A4/2CY1	0,19	1500	55,0	0,66	3,5	1,6	1,6	2,2		
	0,265	3000	61,0	0,75	4,0	1,2	1,2	2,2		
4A63B4/2CY1	0,224	1500	67,0	0,70	3,5	1,5	1,5	1,9		
	0,37	3000	61,0	0,88	4,0	1,1	1,1	1,8		
4A71A4/2CY1	0,45	1500	64,0	0,73	4,0	1,5	1,5	1,9		
	0,75	3000	67,0	0,89	4,0	1,2	1,2	1,8		

Типоразмер двигателя	Номинальная мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	При номинальном режиме		$I_{пуск}$	$I_{ном}$	$M_{пуск}$	$M_{ном}$	$M_{тиз}$	$M_{ном}$	$M_{тизх}$	$M_{ном}$
			КПД, %	Коэффициент мощности								
4A71B4/2CY1	0,63	1500	67,0	0,75	4,5	1,3	1,3	1,9				
	0,95	3000	69,0	0,89	4,5	1,3	1,3	1,9				
4A80A4/2CY1	1,10	1500	73,0	0,79	5,0	1,7	1,3	2,0				
	1,50	3000	72,0	0,89	4,0	1,5	0,9	1,8				
4A90LA4/2CY1	1,50	1500	76,0	0,81	5,5	1,7	1,3	2,1				
	2,00	3000	74,0	0,86	5,0	1,7	1,1	1,9				
4A90LB4/2CY1	2,00	1500	77,0	0,86	6,0	1,7	1,2	2,2				
	2,5	3000	77,0	0,89	6,0	1,8	1,1	2,1				
4A1004/2CY1	2,65	1500	80,0	0,82	6,0	1,8	1,3	2,2				
	3,40	3000	77,0	0,91	6,0	1,8	1,3	2,2				
4A100L4/2CY1	3,20	1500	82,0	0,82	7,0	1,8	1,6	2,2				
	4,20	3000	80,0	0,92	7,0	1,8	1,6	2,2				
4A112M4/2CY1	4,20	1500	82,0	0,84	7,5	1,3	1,0	1,8				
	5,00	3000	77,0	0,89	7,5	1,1	0,8	1,8				
4A132S4/2CY1	6,00	1500	84,0	0,87	7,5	1,3	1,0	1,8				
	6,70	3000	78,0	0,90	7,5	1,1	0,8	1,8				
4A132M4/2CY1	8,50	1500	86,0	0,88	7,5	1,3	1,0	1,8				
	9,50	3000	81,0	0,90	7,5	1,1	0,8	1,8				
4A160S4/2CY1	11,00	1500	85,0	0,85	7,5	1,5	1,0	2,1				
	14,00	3000	83,0	0,92	7,5	1,2	0,8	2,0				
4A160M4/2CY1	14,00	1500	87,0	0,87	7,5	1,5	1,0	2,1				
	17,00	3000	84,0	0,92	7,5	1,2	0,8	2,0				
4A180S4/2CY1	18,00	1500	88,5	0,80	6,5	1,3	1,0	1,8				
	21,00	3000	85,0	0,93	6,5	1,1	0,8	1,8				
4A180M4/2CY1	22,00	1500	90,0	0,90	7,5	1,3	1,0	1,8				
	26,50	3000	86,0	0,93	7,0	1,1	0,8	1,8				
4A200L4/2CY1	33,50	1500	91,0	0,87	7,0	1,4	1,4	2,0				
	37,00	3000	87,0	0,89	7,5	1,0	1,0	2,2				
4A100L6/4CY1	1,80	1000	77,0	0,70	6,0	1,8	1,6	2,2				
	2,10	1500	78,0	0,86	6,0	1,7	1,2	1,9				
4A100L6/4CY1	2,50	1000	80,0	0,71	6,0	1,8	1,6	2,2				
	2,80	1500	80,0	0,87	6,0	1,7	1,2	1,9				
4A112M6/4CY1	2,80	1000	76,0	0,68	7,5	1,3	1,0	1,8				
	3,20	1500	76,0	0,86	7,5	1,3	0,8	1,8				
4A132S6/4CY1	4,00	1000	80,0	0,68	7,5	1,3	1,0	1,8				
	4,50	1500	79,0	0,85	7,5	1,3	0,8	1,8				
4A132M6/4CY1	6,00	1000	83,0	0,68	7,5	1,3	1,0	1,8				
	6,20	1500	81,5	0,85	7,5	1,3	0,8	1,8				
4A160S6/4CY1	7,10	1000	82,0	0,82	6,5	1,4	1,0	2,2				
	8,50	1500	82,0	0,89	7,0	1,3	0,8	2,2				



Типоразмер двигателя	Номинальная мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	При номинальном режиме		$I_{пуск}$	$I_{ном}$	$M_{пуск}$	$M_{ном}$	$M_{тип}$	$M_{ном}$	$M_{max}$	$M_{ном}$
			КПД, %	Коэффициент мощности								
4A160M6/4CY1	11,00	1000	83,5	0,83	6,5	1,4	1,0	2,2				
	13,00	1500	83,5	0,90	7,5	1,3	0,8	2,2				
4A90L8/4CY1	0,63	750	73,0	0,72	7,5	1,3	1,0	1,8				
	1,00	1500	75,0	0,85	7,5	1,3	0,8	1,8				
4A100S8/4CY1	1,00	750	68,0	0,61	5,0	1,8	1,1	1,8				
	1,70	1500	80,0	0,87	6,0	1,4	1,1	1,9				
4A100L8/4CY1	1,40	750	69,0	0,62	5,0	1,2	1,1	1,8				
	2,40	1500	81,0	0,89	6,0	1,2	1,1	1,8				
4A112MA8/4CY1	1,90	750	72,0	0,71	7,5	1,2	1,0	1,8				
	3,00	1500	75,0	0,89	7,5	1,0	0,8	1,8				
4A112MB8/4CY1	2,20	750	75,0	0,69	7,5	1,2	1,0	1,8				
	3,60	1500	77,0	0,88	7,5	1,0	0,8	1,8				
4A132S8/4CY1	3,20	750	77,0	0,71	7,5	1,2	1,0	1,8				
	5,30	1500	80,0	0,90	7,5	1,0	0,8	1,8				
4A132M8/4CY1	4,20	750	80,0	0,72	7,5	1,2	1,0	1,8				
	7,10	1500	82,0	0,90	7,5	1,0	0,8	1,8				
4A160S8/4CY1	6,00	750	76,5	0,69	5,5	1,5	1,0	2,0				
	9,00	1500	84,0	0,92	7,0	1,2	0,8	2,0				
4A160M8/4CY1	9,00	750	79,0	0,69	5,5	1,5	1,0	2,0				
	13,00	1500	86,5	0,91	7,0	1,2	0,8	2,0				
4A180M8/4CY1	13,00	750	84,5	0,76	5,5	1,2	1,0	1,8				
	18,00	1500	87,5	0,92	6,5	1,0	0,8	1,8				
4A200M8/4CY1	17,00	750	86,0	0,75	5,0	1,4	1,2	1,8				
	25,0	1500	87,0	0,91	6,0	1,4	1,0	2,0				
4A200L8/4CY1	20,0	750	87,0	0,77	5,0	1,4	1,2	1,8				
	28,0	1500	88,0	0,91	6,0	1,4	1,0	2,0				
4A180M12/6CY1	6,70	500	76,0	0,66	4,5	1,6	1,5	1,9				
	11,00	1000	84,5	0,89	6,5	1,3	1,0	1,9				
4A200M12/6CY1	9,00	500	77,5	0,55	4,0	1,5	1,2	1,8				
	14,00	1000	88,0	0,86	6,5	1,5	1,2	2,0				

Типоразмер двигателя	Номинальная мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	При номинальном режиме		$I_{пуск}$ $I_{ном}$	$M_{пуск}$ $M_{ном}$	$M_{min}$ $M_{ном}$	$M_{max}$ $M_{ном}$
			КГД, %	Коэффициент мощности				
4A100S8/4/2CY1	0,63	750	58,0	0,59	4,0	1,5	1,4	2,0
	1,10	1500	66,0	0,76	5,5	1,1	0,8	2,0
	1,50	3000	67,0	0,90	6,0	1,0	0,8	2,0
4A100L8/4/2CY1	0,90	750	66,0	0,64	4,0	1,5	1,3	1,8
	1,50	1500	71,0	0,76	6,5	1,3	1,0	2,2
	2,10	3000	72,0	0,90	6,5	1,1	0,8	2,0
4A112M8/4/2CY1	1,10	750	65,0	0,68	6,5	1,2	1,0	1,8
	1,90	1500	72,5	0,85	7,5	1,1	0,8	1,8
	2,20	3000	67,5	0,90	7,5	1,0	0,8	1,8
4A132S8/4/2CY1	1,80	750	70,0	0,65	7,5	1,2	1,0	1,8
	3,00	1500	77,5	0,82	7,5	1,1	0,8	1,8
	3,60	3000	69,0	0,87	7,5	1,0	0,8	1,8
4A132M8/4/2CY1	2,40	750	72,5	0,66	7,5	1,2	1,0	1,8
	4,50	1500	79,5	0,82	7,5	1,1	0,8	1,8
	5,00	3000	71,5	0,87	7,5	1,0	0,8	1,8
4A160S8/4/2CY1	3,80	750	76,0	0,72	5,0	1,2	1,0	2,0
	4,25	1500	81,5	0,84	7,5	1,1	1,0	2,0
	6,30	3000	76,5	0,93	7,0	1,0	1,0	2,0
4A160M8/4/2CY1	5,00	750	78,0	0,71	5,0	1,2	1,0	2,0
	7,10	1500	84,5	0,87	7,5	1,1	1,0	2,0
	9,50	3000	80,5	0,93	7,5	1,0	1,0	2,0
4A160M12/8/6/ /4CY1	1,80	500	56,5	0,45	3,0	1,4	1,0	2,0
	4,00	750	67,0	0,63	4,5	1,2	1,0	2,0
	4,25	1000	76,0	0,84	5,0	1,1	0,8	2,0
	6,70	1500	79,0	0,90	6,5	1,0	0,8	2,0
4A180M12/8/6/ /4CY1	3,00	500	63,0	0,55	4,0	2,0	1,5	1,8
	5,00	750	75,0	0,67	5,0	1,6	1,2	1,8
	6,00	1000	80,5	0,85	5,5	1,3	1,0	1,8
	8,00	1500	81,5	0,89	6,0	1,0	0,8	1,8
4A200M12/8/6/ /4CY1	5,00	500	72,0	0,60	4,5	1,4	1,2	2,0
	8,00	750	80,0	0,70	6,0	1,2	1,0	2,0
	8,50	1000	82,5	0,87	6,5	1,1	1,0	2,0
	12,00	1500	82,5	0,90	7,5	1,0	0,8	2,0
4A200L12/8/6/ /4CY1	6,00	500	72,0	0,55	4,5	1,4	1,2	2,0
	10,00	750	81,0	0,72	5,5	1,2	1,0	2,0
	10,50	1000	83,0	0,86	6,5	1,1	1,0	2,0
	15,00	1500	83,5	0,91	7,0	1,0	0,8	2,0

Типоразмер двигателя	Номинальная мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	При номинальном режиме						Скольжение $s$ , %
			КГД, %	Коэффициент мощности	$I_{пуск}$ $I_{ном}$	$M_{пуск}$ $M_{ном}$	$M_{min}$ $M_{ном}$	$M_{max}$ $M_{ном}$	
4AC71A2CY1	1,0	3000	72,0	0,87	5,5	2,0	1,6	2,2	10,0
4AC71B2CY1	1,2	3000	72,0	0,83	5,5	2,0	1,6	2,2	10,0
4AC71A4CY1	0,6	1500	68,0	0,73	4,5	2,0	1,6	2,2	10,0
4AC71B4CY1	0,8	1500	68,0	0,75	4,5	2,0	1,6	2,2	10,0
4AC71A6CY1	0,4	1000	62,5	0,70	4,0	2,0	1,6	2,1	8,0
4AC71B6CY1	0,63	1000	65,0	0,70	4,0	2,0	1,6	2,1	8,0
4AC80A2CY1	1,9	3000	75,0	0,87	6,5	2,0	1,6	2,2	8,5
4AC80B2CY1	2,5	3000	76,0	0,87	6,5	2,0	1,6	2,2	8,5
4AC80A4CY1	1,3	1500	68,5	0,82	5,0	2,0	1,6	2,2	4,5
4AC80B4CY1	1,7	1500	70,0	0,82	5,0	2,0	1,6	2,2	11,0
4AC80A6CY1	0,8	1000	61,0	0,68	4,0	2,0	1,6	2,1	14,0
4AC80B6CY1	1,2	1000	66,5	0,73	4,0	2,0	1,6	2,1	14,0
4AC90L2CY1	3,5	3000	80,0	0,86	6,5	2,0	1,6	2,2	7,5
4AC90L4CY1	2,4	1500	76,0	0,82	6,0	2,0	1,6	2,2	4,5
4AC90L6CY1	1,7	1000	71,0	0,72	6,0	1,9	1,6	2,1	10,0
4AC100S2CY1	4,8	3000	82,0	0,86	7,5	2,0	1,6	2,2	6,5
4AC100L2CY1	6,3	3000	82,0	0,86	7,5	2,0	1,6	2,2	6,5
4AC100S4CY1	3,2	1500	76,5	0,82	6,0	2,0	1,6	2,2	7,0
4AC100L4CY1	4,25	1500	78,0	0,82	6,0	2,0	1,6	2,2	7,0
4AC100L6CY1	2,6	1000	75,0	0,76	6,0	1,9	1,6	2,1	8,0
4AC112M2CY1	8,0	3000	84,0	0,84	7,5	2,0	1,6	2,4	5,0
4AC112M4CY1	5,6	1500	79,0	0,83	7,0	2,0	1,6	2,2	7,0
4AC112MB6CY1	3,2	1000	72,0	0,74	6,5	1,9	1,6	2,1	9,0
4AC132M2CY1	11,0	3000	84,0	0,89	7,5	2,0	1,6	2,4	5,5
4AC132M4CY1	11,8	1500	84,0	0,85	7,0	2,0	1,6	2,2	6,0
4AC132S4CY1	8,5	1500	82,5	0,85	7,0	2,6	1,6	2,8	7,5
4AC132S6CY1	6,3	1000	79,0	0,80	6,5	1,9	1,5	2,1	6,0
4AC132M6CY1	8,5	1000	80,0	0,80	6,5	1,9	1,5	2,1	6,0
4AC160S4CY1	17,0	1500	84,5	0,86	7,0	2,0	1,6	2,2	5,0
4AC160M4CY1	20,0	1500	87,0	0,87	7,0	2,0	1,6	2,2	4,5
4AC160S6CY1	12,0	1000	82,5	0,85	6,5	1,9	1,5	2,1	6,0
4AC160M6CY1	16,0	1000	84,0	0,85	6,5	1,9	1,5	2,1	6,0
4AC180S4CY1	21,0	1500	86,0	0,92	7,0	2,0	1,6	2,2	5,5
4AC180M4CY1	26,5	1500	88,5	0,91	7,0	2,0	1,6	2,2	4,0
4AC180M6CY1	19,0	1000	84,5	0,90	6,5	1,9	1,5	2,1	6,0
4AC200M6CY1	22,0	1000	83,5	0,92	6,5	1,9	1,5	2,1	9,0
4AC200L6CY1	28,0	1000	85,5	0,91	6,5	1,9	1,5	2,1	8,0

## С повышенным скольжением

## Технические данные двигателей АКБ 8—10-го габаритов

Типоразмер двигателя	Номинальная мощность, кВт	Номинальное напряжение, В	Частота вращения (синхронная), об/мин	При номинальной нагрузке			Максимальный момент (кратность)	Данные ротора	
				Ток (мин), А	КПД	Коэффициент мощности		Напряжение, В	Ток, А
АКБ-82-4У3	55	220/380	1500	188/108,5	91,5	0,84	2,0	160	200
АКБ-82-6У3	37	220/380	1000	126/73	91,0	0,85	2,0	165	144
АКБ-92-4У3	90	220/380	1500	309/178	90,5	0,85	2,0	235	248
АКБ-92-6У3	75	220/380	1000	250/144	90,5	0,86	1,8	215	220
АКБ-92-8У3	55	220/380	750	198/114	90,0	0,81	1,7	175	200
АКБ-101-4У3	160	380/600	1500	295/170	92,5	0,89	1,9	302	325
АКБ-101-4У3	160	220/380	1500	516/298	91,5	0,89	1,9	320	315

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
ГЛАВА 1	
<b>Условия эксплуатации и структура применения электродвигателей в сельском хозяйстве</b>	6
ГЛАВА 2	
<b>Электродвигатели сельскохозяйственного исполнения</b>	16
ГЛАВА 3	
<b>Правила выбора электродвигателей для сельскохозяйственных машин</b>	28
ГЛАВА 4	
<b>Установка и обслуживание электродвигателей. Выбор типа защиты</b>	36
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	
Технические данные двигателей серии 4А сельскохозяйственного исполнения	54
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	
Технические данные двигателей АКБ 8—10-го габаритов	60
Список литературы	61

**Галина Сергеевна Курбатова**

## **Электродвигатели для сельского хозяйства**

Редактор Э. П. Клименко  
Редактор издательства Н. Б. Фомичева  
Технический редактор Г. С. Соловьева  
Корректор М. Г. Гулина  
ИБ № 3009

---

Сдано в набор 11.03.83. Подписано в печать 08.07.83. Т-15658.  
Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 3,36. Усл. кр.-отт. 3,57.  
Уч.-изд. л. 3,5. Тираж 40 000 экз. Заказ № 407. Цена 20 к.

---

Энергоатомиздат, 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография «Союзполиграфпрома»  
при Государственном комитете СССР по делам издательств,  
полиграфии и книжной торговли  
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7