



# ЭНЕРГЕТИК · 6 2020

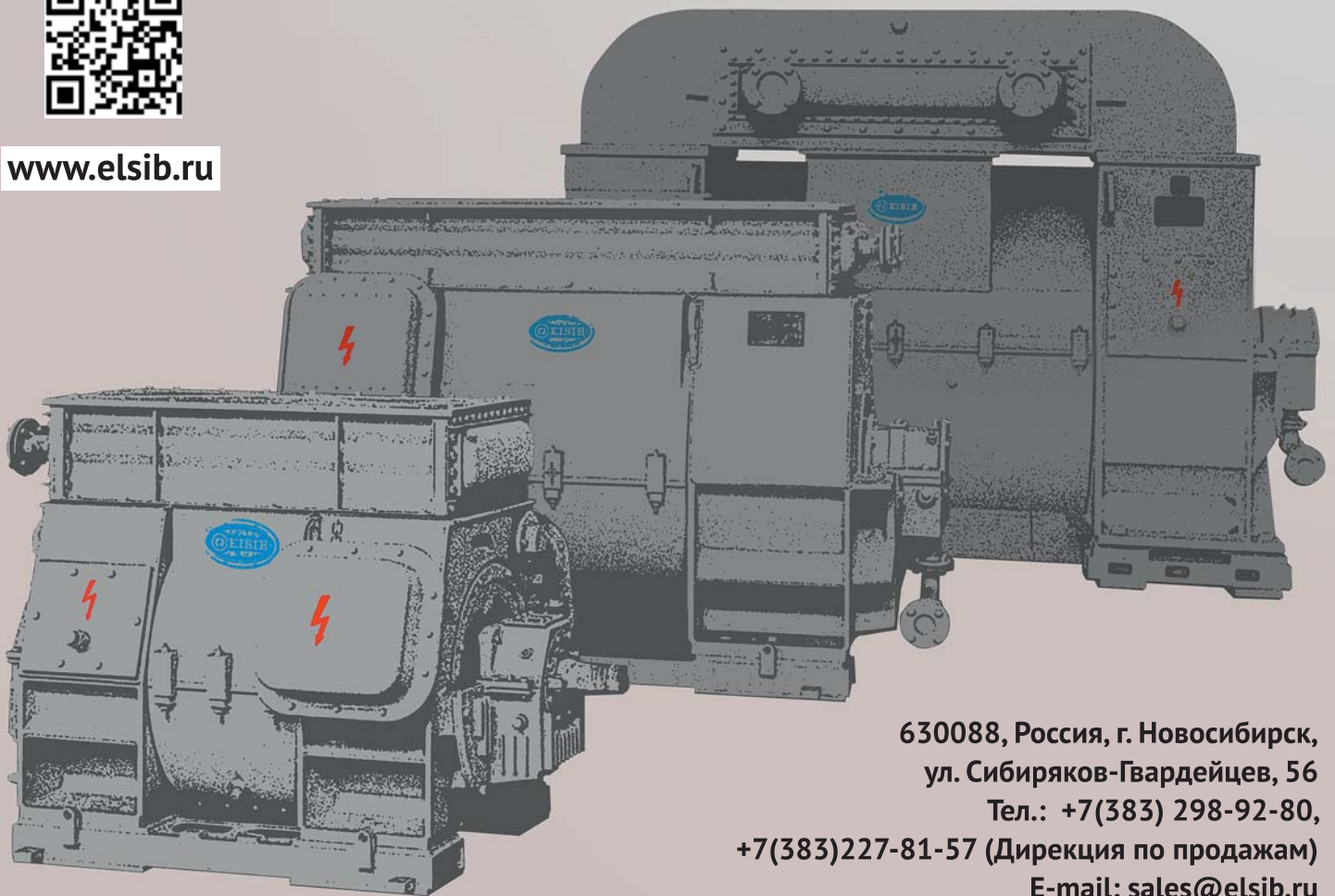
ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННО-МАССОВЫЙ ЖУРНАЛ



НПО «ЭЛСИБ» ПАО – единственное за Уралом  
энергомашиностроительное предприятие, более 65 лет  
выпускающее электрические машины для  
ГЭС, ТЭЦ, ТЭС, ГРЭС и различных областей промышленности

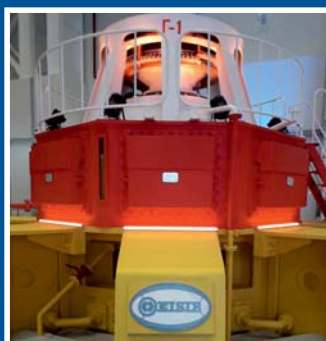


[www.elsib.ru](http://www.elsib.ru)



630088, Россия, г. Новосибирск,  
ул. Сибиряков-Гвардейцев, 56  
Тел.: +7(383) 298-92-80,  
+7(383)227-81-57 (Дирекция по продажам)  
E-mail: [sales@elsib.ru](mailto:sales@elsib.ru)  
[www.elsib.ru](http://www.elsib.ru)

Подробнее: стр. 52



### Высоковольтные электродвигатели для привода механизмов собственных нужд теплоэлектростанций. Опыт и возможности по проведению капитального ремонта и модернизации электродвигателей

НПО «ЭЛСИБ» ПАО — одно из ведущих российских предприятий — производителей электрических машин: турбогенераторов, гидрогенераторов, асинхронных и синхронных электродвигателей. Одним из основных направлений деятельности компании является проектирование и производство асинхронных, синхронных высоковольтных двигателей мощностью до 12 500 кВт в общепромышленном и взрывозащищённом исполнении на различные частоты вращения и напряжение.

За период с 1953 г. по настоящее время заводом выпущено и поставлено на объекты заказчиков в России и за рубежом свыше 65 тыс. двигателей. Заказчики двигателей — тепловые и атомные электростанции, нефтегазовый комплекс, нефтепереработка, нефтехимическая промышленность, крупные предприятия других отраслей промышленности.

Состав и компетенции инженерного центра «ЭЛСИБ» позволяют совершенствовать текущую серийную номенклатуру выпускаемой продукции, разрабатывать новые машины с применением оригинальных решений в конструкции. Конструкторскими отделами успешно применяются методики трёхмерного проектирования в системе T-FLEX CAD 3D. Разрабатываются как отдельные детали с ассоциативными чертежами, так и крупные сборочные чертежи. Имеющиеся мощности предприятия позволяют на площадке завода выполнять полный цикл технологических операций по подготовке производства, изготовлению, проведению испытаний крупных электрических машин, в том числе на базе нового современного оборудования. Всё это в совокупности позволяет в процессе производства обеспечить высокое качество выпускаемой продукции. Являясь научно-производственным объединением, НПО «ЭЛСИБ» ПАО

проводит непрерывную доводку и модернизацию своих двигателей под требования времени и заказчиков, получая в итоге двигатели по своим энергетическим и массогабаритным показателям, не уступающие мировым аналогам.

Основная специализация НПО «ЭЛСИБ» ПАО — выпуск высокооборотных (3000 об/мин) асинхронных электродвигателей для привода механизмов насосной и компрессорной групп. Асинхронные двухполюсные двигатели с короткозамкнутым ротором исторически были и остаются основной номенклатурой предприятия — двигатели серии АТД4 (4АЗМ, 4АРМ, 4АЗМО, 4АЗМП) мощностью 315 – 8000 кВт, серии 4АЗМВ, 4АЗМВ-ТН, 5АЗМВ, 5АЗМВ1 мощностью 800 – 5500 кВт, серии 2АЗМВ1 мощностью 500 – 2000 кВт. Такая номенклатура полностью покрывает потребность турбонасосного и турбокомпрессорного оборудования по исполнению охлаждения (воздушные, водяные) и взрывозащите (продуваемые — «р», оболочка — «d»).

Асинхронные высоковольтные двухполюсные двигатели — отдельный класс электрических машин, определяемый особенностями конструкции и проектирования. С момента основания Новосибирский завод «ЭЛСИБ» является головным предприятием по выпуску таких двигателей для России и бывших союзных республик. Всем специалистам хорошо известны двигатели серии АТД4, которые представляют четвёртое поколение двигателей и традиционно изготавливаются в основных двух исполнениях — 4АЗМ с воздушно-водяной системой охлаждения, 4АРМ с разомкнутым циклом вентиляции (имеются модификации таких двигателей во взрывозащищённом исполнении, исполнении «Для АЭС»). Наиболее распространены машины 4АЗМ, которые применяются на всех тепловых электростанциях большой энергетики для привода питательных, сетевых насосов и других быстходных агрегатов. Надёжность, долговечность, технические характеристики, не уступающие мировым аналогам, позволяют энергетикам во многих странах мира полностью полагаться на эти двигатели.

Двигатели выполнены на стояковых подшипниках скольжения, смонтированы вместе с корпусом статора на общей фундаментной плите. При выполнении проектных работ особое внимание уделялось снижению веса двигателей, по-



Машинный зал Красноярской ТЭЦ-3



Двигатели 2АДО-С

вышению коэффициента полезного действия, повышению надёжности, удобству обслуживания в условиях эксплуатации и улучшению других потребительских свойств.

Необходимо отметить, что достижение высоких энергетических показателей было бы невозможно без уменьшения объёма активного ядра двигателей, что в свое время было реализовано за счёт перехода на новые прогрессивные материалы, в частности на терморезистивную изоляцию «Монолит-4», современную электротехническую сталь и другие материалы. Коэффициент полезного действия двигателей был повышен за счёт снижения механических потерь, внедрения новых решений в системе вентиляции, повышения эффективности охлаждения в зонах максимального выделения тепла. Высокая эффективность охлаждения позволила снизить расход охлаждающего воздуха, мощность вентиляторов, что повлияло на увеличение КПД двигателей. Применение конструкции изоляции «Монолит-4» позволило уменьшить толщину пазовой и лобовой изоляции на 20 %, уменьшить ширину паза и соответственно расстояние от меди до зубца на 25 – 30 %, увеличить электрическую прочность на 33 %, улучшить коэффициент теплопроводности, обеспечить влагостойкость статорной обмотки.

В итоге применение изоляции «Монолит-4» позволило реализовать в электрических машинах конструктивные и технологические решения, влияющие на долговечность эксплуатации высоковольтной обмотки статора, и обеспечить безотказную службу обмотки. Другая особенность «Монолит-4», существен-

но повлиявшая на конструкцию двигателей в целом — это выполнение сердечника статора, пропитанного вместе с обмоткой в эпоксидном компаунде в виде законченного конструктивного узла, который затем устанавливается в корпусе двигателя.

Все двигатели серии АТД4 имеют следующие особенности: щитовые подшипники скольжения, класс изоляции F, полный теплоконтроль, уровень вибрации и шума по ГОСТ, возможность работы в составе частотно-регулируемого привода, высокие пускомомментные и энергетические характеристики, подбор под работу с конкретным механизмом.

Асинхронные двигатели с воздушно-воздушной системой охлаждения занимают особое место в ряду высоковольтных электрических машин для привода различных механизмов. Благодаря чистому внутреннему контуру охлаждения и использованию в качестве хладагента окружающего воздуха они обладают повышенной надёжностью и долговечностью, расширенными возможностями по месту установки при одновременном низких затратах на монтаж и проведение технологических коммуникаций, а также упрощённой эксплуатацией. В результате последовательной работы в течение нескольких десятилетий было создано семейство многополюсных двигателей с одной и двумя скоростями вращения для привода общепромышленного оборудования:

- двигатели типа 2АДО для механизмов с нормальными условиями пуска часто применяют в составе тягодутьевых агрегатов в запылённых и неотапливаемых помещениях;

- двигатели типа АДО, АД0Т, АДОШ, 2АДОТ для привода механизмов с тяжёлыми условиями пуска, основное применение — дробильно-размольное оборудование;

- двигатели типа 2АДО-С, 2АДОТ-С — модификация двигателей на щитовых подшипниках скольжения.

Перечисленные двигатели выполнены с глубокопазными роторами и хорошим контактом стержней и железа зубца, что позволило снизить нагрев стержней в процессе пусков и гарантировать надёжную работу двигателей с числом пусков за срок службы не менее 5000 для особо тяжёлых пусковых режимов и до 10 000 для тягодутьевого оборудования.

Применение в двухскоростных двигателях АДО и 2АДО одной двухслойной петлевой обмотки и ряда других новшеств, прошедших успешную проверку временем на теплоэлектростанциях, позволяет говорить о создании принципиально новых двухскоростных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Данные обмотки имеют по шесть выводных концов, по три в одну коробку выводов для каждой частоты вращения. Смена полюсов обмотки осуществляется двумя выключателями. При разработке этих машин были максимально учтены недостатки, выявленные в ходе эксплуатации двигателей серий ДАЗО, ДАЗО2. В конструкциях двигателей АДО и 2АДО применены:

1. Щитовая компоновка, сопряжение узлов «корпус — щиты — подшипник» по заточке, что значительно снижает вероятность задевания ротора и статора.



Двигатели 4АЗМО могут устанавливаться на фундамент 4АЗМ

2. Посадка сердечника ротора на вал или крестовину (без приварки к валу).

3. Закрепление нажимными элементами зубцовой зоны железа сердечника ротора.

4. Усиленная изоляция обмотки статора типа «Монолит» на терморезистивных связующих, обеспечивающая повышенную механическую, электрическую прочность и влагостойкость, при высоком коэффициенте теплопроводности.

5. Повышенный объем меди в роторе за счёт использования специальных профилей, обеспечивающих хорошие пусковые характеристики и хороший контакт с железом зубцовой зоны ротора.

6. Пониженные плотности тока в обмотке статора, что обеспечивает надёж-

ность её работы при длительных пусках с большими маховыми массами тягодутьевых механизмов.

7. Применение коробок выводов со степенью IP-55 и крепление окончательных выводов обмотки на опорные изоляторы.

Внесение этих изменений позволило создать надёжные машины, отлично зарекомендовавшие себя в ходе многолетней эксплуатации. При этом конструкция двигателей учитывает возможность их установки вместо двигателей-аналогов. Двигатели типа АДО, 2АДО, работающие в качестве привода тягодутьевых механизмов и мельничного оборудования тепловых электростанций, полностью удовлетворяют ряду серьёзных требований:

- надёжному пуску механизмов, имеющих большой момент инерции и высокий момент сопротивления при снижении напряжения в процессе пуска до  $0,8U_{н}$ ;

- надёжной работе при перегрузках до 150 – 200 %;

- длительной устойчивой работе при повышенных вибрациях от разбалансировки роторов мельниц;

- большому числу пусков, 1000 в год и 10 000 за срок службы, для обеспечения работы энергоблоков в маневровых режимах.

В области развития линейки двухполюсных асинхронных двигателей разработаны и освоены производством двигатели 4АЗМО с воздушно-воздушным охлаждением, степенью защиты от воздействия окружающей среды IP44 (коробки выводов — IP55) для установки в помещениях УХЛ4 и под навесом У2 мощностью 250 – 4000 кВт (таблица). При проектировании двигателей 4АЗМО все конструктивные решения, хорошо зарекомендовавшие себя в двигателях 4АЗМ, сохранены. В то же время были применены новые современные решения и материалы. Во внутреннем контуре съём тепла активной зоны машины осуществляется чистым воздухом под действием двух осевых вентиляторов на валу ротора. Горячий воздух охлаждается в охладителе, расположенном сверху, проходя через V-образную систему стальных труб. Нагнетание наружного воздуха в охлаждающие трубы выполняет центробежный вентилятор, расположенный на валу с противоположной стороны. Степень защиты сетки на входе вентилятора IP20.

Сохранив практически все достоинства двигателей 4АЗМ, такие как большое, до 10000, число пусков за срок службы, сохранение рабочих характеристик в течение длительного срока эксплуатации, двигатели 4АЗМО:

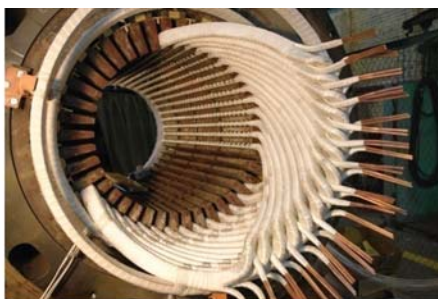
- обладают большой надёжностью и долговечностью вследствие исключения возможности протечек воды, образования конденсата при нахождении в холодном резерве и связанных с этим аварийных остановов и выходов из строя;

- позволяют существенно экономить на эксплуатационных расходах (монтаж, замена охладителей, снижение/исключение потребности в охлаждающей воде и т.д.);

- имеют расширенный диапазон применения по воздействию окружающей среды (установка под навесом, в запылённых, неотопляемых помещениях).

Технологические возможности, инженерные компетенции, положительный опыт проектирования и освоение производства высоковольтных электро-

Тип двигателя	$P_{н}$ , кВт	$N$ , об/мин	$\cos\varphi$ , о. е.	КПД, %	Масса, кг
4АЗМО1-250-6000-2У2	250	2976	0,9	93,8	2300
4АЗМО1-315-6000-2У2	315	2976	0,9	94,3	2415
4АЗМО1-400-6000-2У2	400	2976	0,9	94,8	2550
4АЗМО-500-6000-2УХЛ4, У2	500	2982	0,88	95,2	3100
4АЗМО-630-6000-2УХЛ4, У2	630	2982	0,89	95,6	3300
4АЗМО-800-6000-2УХЛ4, У2	800	2982	0,89	96,0	3500
4АЗМО-1000-6000-2УХЛ4, У2	1000	2977	0,89	95,6	4900
4АЗМО-1250-6000-2УХЛ4, У2	1250	2977	0,89	96,0	5200
4АЗМО-1600-6000-2УХЛ4, У2	1600	2977	0,88	96,1	6600
4АЗМО-2000-6000-2УХЛ4, У2	2000	2977	0,89	96,5	7300
4АЗМО-2500-6000-2УХЛ4, У2	2500	2980	0,90	96,8	8300
4АЗМО-3150-6000-2УХЛ4, У2	3150	2986	0,89	96,7	10 900
4АЗМО-4000-6000-2УХЛ4, У2	4000	2986	0,89	97,0	12 300



Этапы ремонта статора двигателя 4АЗМ-4000/6000УХЛ4

двигателей позволяют нашему предприятию удовлетворить практически любые требования потребителей, предъявляемые сегодня к электроприводу насосного, компрессорного и другого оборудования. Практически все двигатели «ЭЛСИБа» имеют возможность работы в составе частотно-регулируемого привода.

Подробный буклет НПО «ЭЛСИБ» ПАО по всей номенклатуре выпускаемых электродвигателей можно посмотреть и скачать по ссылке: [https://elsib.ru/wp-content/uploads/2019/04/katalog\\_kjem-jelsib-1.pdf](https://elsib.ru/wp-content/uploads/2019/04/katalog_kjem-jelsib-1.pdf).

За последние 20 лет НПО «ЭЛСИБ» ПАО накопило достаточно большой опыт ремонтов и модернизаций высоковольтных двигателей, как собственного, так и зарубежного производства (Англия, Италия, Германия, Япония, США, Франция). Это ремонт высоковольтных асинхронных и синхронных электродвигателей, в том числе во взрывозащищённом исполнении. Выполняем ремонт и модернизацию двигателей до 12 500 кВт как современных, так и уже снятых с производства.

Оптимальный вариант для выполнения капремонта, когда двигатель поступает на завод в собранном виде. Проводится разборка и дефектация всех узлов, деталей электродвигателя, по результатам дефектации составляется перечень работ, необходимых для устранения обнаруженных дефектов. Так, например, в двигателе с короткозамкнутой обмоткой ротора, поступающем на ремонт из-за повреждения обмотки статора, проверяется состояние элементов клетки ротора, подшипниковых шеек

и подшипников, при необходимости подшипники качения заменяются, вкладыши подшипников перезаливаются, ротор проверяется на отсутствие искривления вала, также все роторы перед сборкой балансируются в обязательном порядке.

Основной изоляцией, применяемой на «ЭЛСИБе» при ремонте статорных обмоток, является изоляция типа «Монолит-4». При её использовании за счёт более высокой теплопроводности улучшается тепловое состояние обмотки, появляется возможность эксплуатировать двигатели в условиях повышенной влажности, а высокая механическая прочность обеспечивает надёжную работу изоляции в режиме прямого пуска двигателя. В процессе ремонта витковая и корпусная изоляция подвергается испытаниям на электрическую прочность в соответствии с нормативами как для новой продукции.

Выполняется ремонт роторов электрических машин любого типа. В роторах асинхронных двигателей с медной «беличьей клеткой» проводим замену повреждённых стержней различного профиля и короткозамыкающих колец. Надёжность соединения элементов клетки обеспечивается пайкой твёрдыми припоями с температурой плавления около 750 °С. Также проводится ремонт обмоток роторов асинхронных двигателей с фазным ротором, синхронных двигателей двух- и многополюсных; для таких типов двигателей в случае необходимости выполняется ремонт щёточно-контактного аппарата (ЩКА). Возможна модернизация ЩКА с выполнением узла колец контактных на общей изо-

лированной втулке и установкой щёткодержателей с руплонной пружиной, обеспечивающей постоянное нажатие на щётки с необходимым усилием. При этом отпадает необходимость в регулировке усилия нажатия на весь период работы щётки.

Сохранение точности геометрических размеров на ремонтируемых электродвигателях — одна из главных решаемых задач. Восстановление геометрии подшипниковых шеек роторов — один из основных условий надёжной работы подшипниковых узлов, особенно подшипников качения. Используя метод электроискрового напыления, мы восстанавливаем до необходимого размера шейки валов под подшипниками, приводные концы валов в случае их прослабления или искривления.

В случае выявления трещин в валах, сильного искривления мы можем изготовить надставку или произвести полную замену вала при сохранении сердечника ротора. После окончания ремонта электродвигатель проходит приёмосдаточные испытания в соответствии с нормами для новой продукции, что наиболее полно гарантирует надёжность дальнейшей работы отремонтированной машины.

Что получает наш Заказчик в итоге после капремонта или модернизации? Прежде всего, полностью восстановленную электрическую машину, соответствующую всем заданным требованиям, в том числе требованиям надёжности, что подтверждается соответствующими испытаниями. Капитальный ремонт даёт оборудованию вторую жизнь для продолжения эффективной работы на объекте заказчика.

**А. В. АРТЁМОВ**  
заместитель директора по продажам  
НПО «ЭЛСИБ» ПАО



Научно-производственное  
объединение «ЭЛСИБ» публичное  
акционерное общество  
630088, г. Новосибирск,  
ул. Сибиряков-Гвардейцев, 56  
[www.elsib.ru](http://www.elsib.ru); [sales@elsib.ru](mailto:sales@elsib.ru)  
отдел продаж электродвигателей:  
+7 (383) 298-91-17, 298-91-15,  
[boikov@elsib.ru](mailto:boikov@elsib.ru)  
отдел продаж сервиса и ремонта:  
+7 (383) 298-93-34, 298-93-52,  
[svkolbin@elsib.ru](mailto:svkolbin@elsib.ru)