

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина „Электрооборудование судов” имеет первостепенное значение в образовательно-профессиональной подготовке судовых механиков.

Абсолютное большинство судовых технических средств (СТС) морских судов электрифицировано и автоматизировано, поэтому их эффективная эксплуатация невозможна без освоения данной дисциплины.

Необходимость фундаментальных знаний судовыми механиками судовой электротехники и ее составной части - судового электрооборудования, определяется, прежде всего, нуждами производства.

### 1. Условия работы судового электрооборудования. Требования Правил Регистра к судовому электрооборудованию

Судовое электрооборудование по сравнению с береговым работает в более трудных условиях.

Береговое электрооборудование установлено в определенной географической точке, т.е. оно не перемещается в пространстве и круглый год находится в одном и том же климатическом поясе.

Судовое электрооборудование перемещается вместе с судном, и в течение одного рейса (30-40 суток) может побывать во всех климатических поясах Земного шара (например, при переходе из Антарктиды в Мурманск).

Для судового электрооборудования характерны следующие условия эксплуатации:

1. периодическое пребывание в тропиках, арктических водах и средних широтах, при этом средняя продолжительность пребывания в тропиках за год составляет 170 сут;
2. непрерывное пребывание в состоянии повышенной относительной влажности (от 70 до 100 %).

При этом в машинных отделениях в течение длительного времени относительная влажность составляет до 80 % при высоких температурах, а на палубах - меняющаяся влажность вплоть до циклического ежесуточного выпадения росы при средней температуре за сутки до 30 °С;

3. приблизительно постоянное содержание солей в воздухе: 3—5 мг на 1 м<sup>3</sup>;
4. высокое содержание паров нефти в машинных отделениях: до 20 мг на 1 м<sup>3</sup> воздуха;
5. интенсивное скопление конденсата: воды в палубных механизмах и нефтепродуктов в машинно-котельных механизмах;
6. оседание на поверхностях соли — в неблагоприятных условиях до 0,2 мм за сутки;
7. работа в условиях повышенной вибрации и периодических ударных нагрузок, связанных с сотрясением корпуса от ударов волн или при плавании во льдах.

Кроме того, для палубного оборудования добавочными условиями являются:

1. полное обледенение при пребывании в арктических водах;
2. периодическое обливание морской водой, эквивалентное поливу из шланга под давлением  $9,8 \cdot 10^4$  Па (1 ат) с расстояния 1,5 м;
3. в отдельных случаях полное кратковременное погружение под набегающую волну;
4. дополнительный кратковременный нагрев за счет солнечной радиации в тропиках (до 5 °С сверх предельной температуры воздуха) и ионизация под воздействием озона плотностью до 40 мкг/м<sup>3</sup>.

Статистика эксплуатации судов основных транспортных океанских линий показывает, что общее время пребывания судна в тропиках составляет примерно 160 сут в год;

при этом ходовое время судна - около 150 сут, из них 60 сут в тропиках, стояночное время 210 сут, из них 100 сут в тропиках.

Среднее наибольшее время стоянки в тропиках 10 сут. Средняя температура воздуха Мирового океана в зоне тропиков составляет 20 °С при абсолютной влажности 15 г/м<sup>3</sup>.

У берегов Индии и Индонезии средняя температура равна 25 °С при абсолютной влажности 20 г/м<sup>3</sup>.

Поэтому морские нормативные документы предъявляют к СЭО повышенные требования.

Эти требования содержатся в Правилах Регистра и в основном сводятся к следующему:

1. электрическое оборудование на судах должно надежно работать в условиях относительной влажности воздуха 75±3% при температуре +45±2°С или 80±3% при температуре +40±2°С, а также при относительной влажности воздуха 95±3% при температуре +25±2°С;

2. конструктивные части электрического оборудования должны изготавливаться из материалов, устойчивых к воздействию морской атмосферы, или должны быть надежно защищены от вредного воздействия этого фактора;

3. электрическое оборудование должно надежно работать при вибрациях с частотами от 2 до 80 Гц, а именно: при частотах от 2 до 13,2 Гц с амплитудой перемещений ± 1 мм и при частотах от 13,2 до 80 Гц с ускорением ±0,7 g;

4. электрическое оборудование, установленное на источниках вибрации (дизели, компрессоры и т.п.) или в румпельном отделении, должно надежно работать при вибрациях от 2 до 100 Гц, а именно: при частотах от 2 до 25 Гц с амплитудой перемещения ±1,6 мм и при частотах от 25 до 100 Гц с ускорением ±4,0 g;

5. электрическое оборудование должно надежно работать также при ударах с ускорением ± 5,0 g и частоте в пределах от 40 до 80 ударов в минуту;

6. электрическое оборудование должно безотказно работать при длительном крене судна до 15° и дифференте до 5°, а также при бортовой качке до 22,5° с периодом 7 - 9 с и килевой до 10° от вертикали;

7. аварийное оборудование должно, кроме того, надежно работать при длительном крене до 22,5°, дифференте до 10°, а также при одновременном крене и дифференте в указанных выше пределах;

8. электрическое оборудование должно обладать соответствующей механической прочностью и устанавливаться в таком месте, где нет опасности механического повреждения.

Для выполнения перечисленных выше условий судовое электрооборудование должно иметь соответствующее устройство (конструкцию).

Рассмотрим требования к конструкции судового электрооборудования более подробно.

## **2. Требования морских нормативных документов к конструкции судового электрооборудования**

### **Основные сведения**

Конструкцию судового электрооборудования разрабатывают с учётом 4-х факторов:

1. климатических условий района эксплуатации (плавания);
2. предполагаемого места размещения электрооборудования непосредственно на судне;
3. степени защищенности обслуживающего персонала от соприкосновения с токоведущими или вращающимися частями электрооборудования, находящегося внутри её корпуса;

4. степени защищённости корпуса электрооборудования от попадания внутрь воды.

### **Классификация судового оборудования в зависимости от климатических условий района плавания**

Соответствующими стандартами установлена следующая классификация судового оборудования в зависимости от климата района плавания:

1. оборудование судов ограниченного района плавания с умеренно холодным климатом ( европейская часть ), обозначаемая буквой М;
2. оборудование судов неограниченного района плавания, обозначаемое буквами ОМ.

Классификация судового оборудования в зависимости от климата района плавания приведена в таблице В1.

Таблица В.1.

### **Классификация судового оборудования в зависимости от климата района плавания**

Климатическое исполнение	Обозначения в странах СНГ	Международные обозначения
Для районов с умеренным и холодным климатом *( + 40°С... - 45°С )	М	М
Для районов с тропическим морским климатом** ( выше + 40°С )	Т	Т
Для неограниченного района плавания	ОМ	MU
Для всех климатических районов на суше и на море	В	W
* К этим районам относятся моря и океаны севернее 30° северной широты		
** К этим районам относятся моря и океаны, расположенные между 30° северной широты и 30° южной широты		

Таким образом, суда неограниченного района плавания ( океанские ), периодически переходящие из северных широт в южные и наоборот, имеют электрооборудование класса ОМ.

### **Классификация электрооборудования в зависимости от места расположения на судне**

Судовое электрооборудование расположено на самых разных пространствах судна и в разных помещениях.

Место расположения электрооборудования определяется видом механизма.

Например, электроприводы палубных механизмов – якорно-швартовых и грузовых устройств, траповых и шлюпочных лебедок, расположены на открытых палубах и подвержены прямому воздействию воды.

Электроприводы механизмов, расположенных в машинном отделении, например, пожарных насосов, насосов, обеспечивающих работу главного двигателя, лишены прямого воздействия воды, но остаются под воздействием остальных неблагоприятных факторов – повышенной влажности, вибрации, ударов и др.

Электрооборудование, расположенное в ЦПУ – разного рода системы управления и контроля, а также главный электрораспределительный щит, работают в наиболее ком-

фортных условиях, т.к. помещение ЦПУ отапливается ( или охлаждается, в зависимости от района плавания ) и вентилируется.

Условные обозначения категорий размещения электрооборудования на судне приведены в таблице В.2.

Таблица В.2.

### Категории размещения электрооборудования на судне

Обозначение категории места	Характеристика места размещения электрооборудования
1	На открытом воздухе
2	На открытом воздухе или в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха незначительно отличаются от колебаний на открытом воздухе
3	В помещениях с естественной вентиляцией без искусственного климата
4	В отапливаемых или охлаждаемых и вентилируемых помещениях
5	В помещениях с повышенной влажностью, где возможно длительное наличие воды или частая конденсация влаги на стенах или потолке

### Классификация электрооборудования в зависимости от степени защищенности обслуживающего персонала от соприкосновения с его токоведущими или вращающимися частями и степени защищённости корпуса электрооборудования от попадания внутрь воды

Условные обозначения степени защищенности обслуживающего персонала от соприкосновения с токоведущими или вращающимися частями электрооборудования, находящегося внутри её корпуса и степени защищённости корпуса электрооборудования от попадания внутрь воды **объединены** и состоят из латинских букв IP ( от первых букв английских слов «International Protection», что означает «Международная система защиты корпуса электрооборудования» ) и двух последующих цифр.

Первая цифра обозначает степень защищенности обслуживающего персонала от соприкосновения с токоведущими или вращающимися частями электрооборудования.

Цифровые значения степеней такой защиты приведены в таблице В.3.

Таблица В.3.

### Степени защиты судового электрооборудования от соприкосновения с токоведущими или вращающимися частями

Первая цифра условного обозначения	Степень защиты
0	специальная защита отсутствует
1	от проникновения внутрь корпуса большого участка поверхности человеческого тела, например, руки, и от проникновения твёрдых тел размером свыше 50 мм
2	от проникновения внутрь корпуса пальцев или предметов длиной не более 80 мм и твёрдых тел размером свыше 12 мм

3	от проникновения внутрь корпуса инструментов , проволоки и др. предметов диаметром или толщиной более 2,5 мм и от проникновения твердых тел размером более 1,0 мм
4	от проникновения внутрь корпуса проволоки и твёрдых тел размером более 1,0 мм
5	проникновение внутрь корпуса пыли не предотвращено полностью , однако количество попавшей пыли не должно нарушить работу изделия
6	проникновение пыли предотвращено полностью

Вторая цифра обозначает степень защищенности электрооборудования от попадания внутрь воды. Цифровые значения степеней такой защиты приведены в таблице В.4.

Таблица В.4.

**Степень защищенности электрооборудования от попадания внутрь воды**

Вторая цифра условного обозначения	Степень защиты	Название исполнения корпуса электрооборудования
0	защита отсутствует	открытое
1	от капель воды, падающих вертикально	каплезащищённое
2	от капель воды при наклоне оболочки до 15°	каплезащищённое
3	от дождя, падающего под углом 60° к вертикали	брызгозащищённое
4	от брызг, попадающих на корпус под любым углом	брызгозащищённое
5	от водяных струй, попадающих на корпус под любым углом	брызгозащищённое
6	от волн воды	водозащищённое
7	при погружении в воду: вода не должна попасть внутрь корпуса в количестве, достаточном для повреждения изделия, при определённых стандартами значениях давления воды и времени нахождения под водой	погружное ( герметичное )
8	то же, что и в п.7, но при длительном погружении в воду:	погружное ( герметичное )

Правила классификации и постройки морских и речных судов ( Регистр ) устанавливают зависимость степени защищённости электрооборудования от типа судовых помещений. Эта зависимость приведена в таблице В.5.

Таблица В.5.

**Зависимость степени защищённости электрооборудования от типа судовых помещений**

№№	Тип судового помещения	Характеристика помещения	Степень защиты
1	Помещение главного распределительного щита	Сухое отапливаемое	IP00
2	Жилые, общественные и служебные помещения и относящиеся к ним коридоры, вестибюли, трапы, кроме перечисленных ниже	Сухие	IP20
3	Каюты, салоны, детские комнаты и т.п. на пассажирских судах	Сухие	IP30
4	Умывальные, туалетные, гальюны, раздевалки, камбузы, сушильные, провизионные кладовые и т.п.	С повышенной влажностью	IP44
5	Бани, душевые, ванны, прачечные, посудомоечные, заготовительные, по обработке продуктов промысла и лова	Особо сырые	IP55
6	Кладовые: шкиперские, прозодежды, запчастей, мастерских, фонарные, малярные, а также тамбуры и коридоры, примыкающие к этим помещениям	Влажные	IP23
7	Закрытые рулевые, штурманские, радио- и трансляционные рубки и т.п.	Сухие	IP22
8	Аварийных дизель-генераторов и пожарных насосов	С повышенной влажностью	IP23
9	Специальные электрические	Сухие, при возможности отапливаемые	IP10
10	Помещения машинные, котельные и электрического оборудования	С повышенной влажностью	IP23
11	Холодильных машин, рулевых машин, агрегатные для палубных механизмов, насосные на сухогрузных судах	С повышенной влажностью	IP23
12	Места, где может скапливаться негорючая пыль ( трюма, склады и т.п. )	Особо сырые	IP55
13	Открытые палубы	Заливаемые водой	IP56
14	Помещения и пространства, где оборудование работает под водой	Затопляемые	IP68
15	Помещения с горючей пылью, угрожающей взрывом	Опасные	IP68

В зависимости от особых условий эксплуатации, дополняющих перечисленные выше, могут использоваться и иные буквенные обозначения исполнения корпусов судового электрооборудования. Эти обозначения приведены в таблице 6.

Таблица В.6.

**Классификация судового оборудования в зависимости от особых условий работы эксплуатации**

№п/п	Обозначение исполнения	Наименование исполнения	Характерные признаки конструктивного исполнения
1	ММ	Маломощное	Оборудование изготовлено из маломощных материалов или ограничивается его

			магнитное поле при помощи встроенных ферромагнитных устройств
2	ВЗГ	Взрывозащищенное	Исполнение корпуса оборудования исключает возможность воспламенения окружающей взрывоопасной среды
3	УВ	Ударовибростойкое, ударовибропрочное	Оборудование предназначено для работы в условиях, характеризующихся наличием вибрации и ударов

### Классификация судового электрооборудования в зависимости от способа монтажа электрических машин

Конструктивное исполнение электрических машин по способу монтажа (крепление и сочленение) и условное обозначение этих исполнений в технической документации установлены ГОСТ 2479-79.

Условное обозначение состоит из двух букв латинского алфавита IM и четырех цифр:

$$IM \frac{X}{1} \frac{X}{2} \frac{X}{3} \frac{X}{4},$$

где: первая цифра - конструктивное исполнение:

- 1 – на лапах с подшипниковыми щитами ( с пристроенным редуктором );
- 2 - на лапах с подшипниковыми щитами, с фланцем на подшипниковом щите (или щитах);
- 3 - с фланцем на одном подшипниковом щите (или щитах), с цокольным фланцем;
- 4 - без лап с подшипниковыми щитам с фланцем на станине;
- 5 - без подшипниковых щитов;
- 6 - на лапах с подшипниковыми щитами и со стояковыми подшипниками;
- 7 - на лапах со стояковыми подшипниками (без подшипниковых щитов);
- 8 - с вертикальным валом, кроме групп от IM1 до IM4;
- 9 - специального исполнения по способу монтажа.

Вторая и третья цифры — способы монтажа (пространственное положение машины и направление конца вала, причем в обозначении направления конца вала (3-я цифра ); цифра 8 обозначает, что машина может работать при любом из направлений конца вала, определенных цифрами 8 - 7, а цифра указывает, что направление конца вала машины отличается от определенных цифрами с 0 до 8.

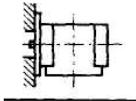
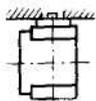
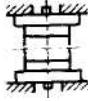
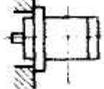
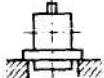
В этом случае направление конца вала указывается дополнительно в технической документации.

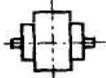
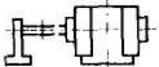
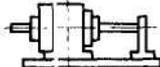
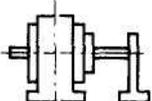
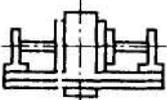
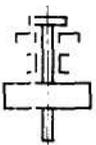
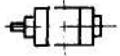
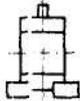
Четвертая цифра обозначает исполнена конца вала электрической машины.

- 0 - без конца вала;
- 1 - с одним цилиндрическим концом вала;
- 2 - с двумя цилиндрическими концам вала;
- 3 - с одним коническим концом вала;
- 4 - с двумя коническими концами вала;
- 5 - с одним фланцевым концом вала;
- 6 - с двумя фланцевыми концами вала
- 7 - с фланцевым концом вала на стороне D и цилиндрическим концом вала на стороне N, причем под стороной D понимается при одном конце вала для двигателей – при водная, а для генераторов – приводимая сторона; при двух концах вала - сторона с концом вала большего размера, а при равных диаметрах для машин на лапах с коробкой выводов, расположенных не сверху,- сторона, с которой коробка выводов видна справа;
- 8 - прочие исполнения конца вала.

Таблица В.7..

**Примеры условного обозначения форм конструктивного исполнения электрических машин**

Группа исполнения	Конструктивное исполнение	Обозначение
<p align="center"><b>IM1</b></p> <p>Машины на лапах с подшипниковыми щитами</p>	С двумя подшипниковыми щитами, на лапах, вал горизонтальный с цилиндрическим концом	<p align="center"><b>IM1001</b></p> 
	То же, вал вертикальный с цилиндрическим концом, направленным вниз	<p align="center"><b>IM1011</b></p> 
<p align="center"><b>IM2</b></p> <p>Машины на лапах с подшипниковыми щитами с фланцем на подшипниковом щите ( или щитах )</p>	На лапах, с фланцем на одном подшипниковом щите, доступном с обратной стороны, вал горизонтальный с цилиндрическим концом	<p align="center"><b>IM2001</b></p> 
	На лапах, с фланцем на одном подшипниковом щите, недоступном с обратной стороны, ( или щитах ), вал горизонтальный с цилиндрическим концом, направленным вверх	<p align="center"><b>IM2131</b></p> 
<p align="center"><b>IM3</b></p> <p>Машины без лап с подшипниковыми щитами, с фланцем на одном подшипниковом щите ( или щитах )</p>	С двумя подшипниковыми щитами, с фланцем на стороне D, доступном с обратной стороны, вал горизонтальный с цилиндрическим концом	<p align="center"><b>IM3001</b></p> 
	С двумя подшипниковыми щитами, с фланцами, доступными с обратной стороны на обоих подшипниковых щитах, вал вертикальный с цилиндрическими концами	<p align="center"><b>IM3001</b></p> 
<p align="center"><b>IM4</b></p> <p>Машины без лап с фланцем на станине</p>	С двумя подшипниковыми щитами, с фланцем на стороне D, доступном с обратной стороны, вал горизонтальный с цилиндрическим концом	<p align="center"><b>IM4001</b></p> 
	С одним подшипниковым щитом, с фланцем на стороне N, доступном с обратной стороны; вал вертикальный с цилиндрическим концом, направленным вверх	<p align="center"><b>IM4731</b></p> 
<b>IM5</b>	Без станины с ротором, вал	<b>IM5001</b>

Машина без подшипниковых щитов	горизонтальный с цилиндрическим концом	
	Со станиной на лапах, с ротором, без вала	IM5410 
IM6 Машина с подшипниковыми щитами и стоячковыми подшипниками	На лапах с двумя подшипниковыми щитами, с одним стоячковым подшипником на стороне D, без фундаментной плиты	IM6000 
	Со станиной на лапах с фундаментной плитой, с одним стоячковым подшипником на стороне N, с одним подшипниковым щитом	IM6211 
IM7 Машины со стоячковыми подшипниками ( без подшипниковых щитов )	Без фундаментной или опорной плиты, станина на лапах, с одним стоячковым подшипником	IM7001 
	С фундаментной плитой на приподнятых лапах, с двумя стоячковыми подшипниками	IM7610 
IM8 Машины с вертикальным валом, кроме машин групп от IM1 до IM4	С подпятником и направляющим подшипником, расположенным под ротором, с валом, без маховика	IM8201 
	С подпятником и направляющим подшипником, расположенным над ротором, с валом, без маховика	IM8411 
IM9 Машины специального исполнения по способу монтажа	Встраиваемое исполнение с цилиндрической станиной ( или без станины ), с двумя подшипниковыми щитами, вал горизонтальный с цилиндрическим концом	IM9001 
	С двумя подшипниковыми щитами на лапах в горизонтальной плоскости, вал вертикальный с цилиндрическим концом	IM9631 

## 6.6. Классификация судового электрооборудования в зависимости от режимов работы

### Основные сведения

Судовое электрооборудование будет работать надежно, если оно не только правильно сконструировано, но и правильно используется.

СЭО используется правильно, если оно соответствует условиям работы судового механизма, устройства и т.п.

Поясним сказанное на примере условий работы электродвигателей.

Например, электродвигатели насосов и вентиляторов работают с постоянной нагрузкой, при неизменном токе.

В то же время электродвигатели грузоподъемных механизмов работают в более тяжелых условиях – с частыми пусками, сопровождающимися бросками тока.

Ясно, что использовать в грузоподъемных механизмах электродвигатели, предназначенные для насосов или вентиляторов нельзя – они быстро сгорают.

Если, наоборот, использовать для насосов или вентиляторов электродвигатели, предназначенные для грузоподъемных механизмов, можно, но нецелесообразно – они окажутся недоиспользованными по мощности, т.к. вместо работы в тяжелых условиях ( с бросками токов ) они станут работать в легких ( с постоянной нагрузкой )..

Иначе говоря, каждому виду СЭО соответствует «свой», определенный режим работы. Тот или иной режим работы электрооборудования полностью зависит от технологических условий работы механизма. Иначе говоря, механизм «навязывает» электрооборудованию ( например, электродвигателю ) свои условия работы – как работает механизм, так должен работать и электродвигатель.

Приведем основные сведения, связанные с понятием «режим работы электрооборудования», применительно к электродвигателям.

Это объясняется тем, что основную часть производимой на судне электроэнергии ( до 85...90% ) потребляют именно электродвигатели.

*Международная система классификации режимов работы электродвигателей*

Режим работы электродвигателей - это установленный порядок чередования периодов, характеризуемых величиной и продолжительностью нагрузки, отключений, торможения, пуска и реверса во время его работы.

Для иллюстрации этих режимов работы используют *нагрузочные диаграммы*, представляющие собой зависимость параметра, характеризующего нагрузку приводного двигателя от продолжительности  $t$  отдельных циклов, составляющих работу электропривода в течение определенного периода времени.

К параметрам, характеризующим нагрузку приводного двигателя электропривода, относят:

1. полезную мощность  $P$ ;
2. полезный момент ( момент на валу )  $M$ ;
3. силу потребляемого тока  $I$ .

Существующие международные стандарты устанавливают 8 режимов работы электрооборудования, обозначаемых  $S1...S8$ .

Существующие международные стандарты устанавливают 8 режимов работы электрооборудования, обозначаемых  $S1...S8$  ( табл В.7 ).

Таблица В.7.

Режимы работы электрооборудования

	Название режима	Обозначение	Примеры судовых электроприводов
1	Продолжительный	S1	Вспомогательные механизмы ГД, вентиляторы МО и трюмные, рулевое устройство
2	Кратковременный	S2	Лебедки шлюпочные и траповые, якорно-швартовные устройства
3	Повторно-кратковременный	S3	Грузоподъемные механизмы ( лебедки, краны, порталы )
4	Повторно-кратковременный, с определенным числом	S4	Грузоподъемные механизмы ( лебедки, краны, порталы )

	включений в час		
5	Повторно-кратковременный, с электрическим торможением	S5	Грузоподъемные механизмы ( лебедки, краны, порталы )
6	Перебегающий с длительностью цикла 10 мин	S6	-
7	Повторно-кратковременный с частыми реверсами при электрическом торможении	S7	Грузоподъемные механизмы ( лебедки, краны, порталы )
8	Перебегающий с двумя и более частотами вращения	S8	-

На судах, в основном, применяются электрооборудование первых трех режимов, а именно:

1. продолжительного S1;
2. кратковременного S2;
3. повторно-кратковременного S3.

### Продолжительный режим S1

Продолжительным называют режим, при котором температура двигателя  $\tau$  за время работы поднимается от температуры окружающей среды  $\theta_0$  до установившейся  $\theta_{уст}$  ( рис. В.2, а ).

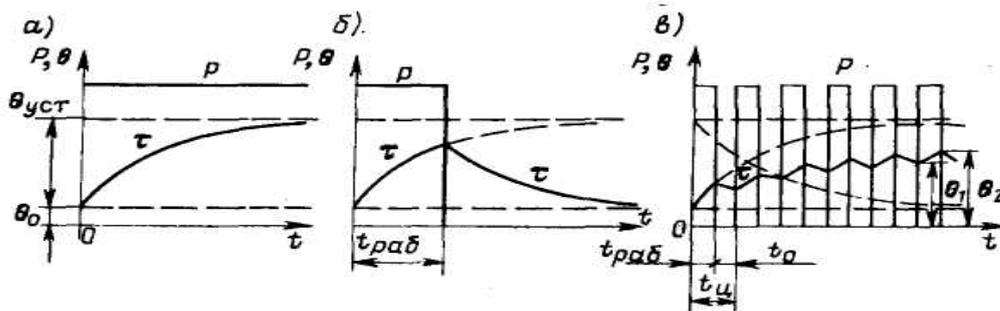


Рис. В.2. Нагрузочные диаграммы и кривые нагрева двигателя при продолжительном S1 ( а ), кратковременном S2 ( б ) и повторно-кратковременном S3 ( в ) режимах работы

Двигатель используется по мощности полностью, если установившаяся температура  $\theta_{уст}$  равна максимально допустимой для класса изоляции  $\theta_{дон}$  ( таблица 1 ).

Таблица В.8.

Класс изоляции	A	E	B	F	H	C
Предельная температура, °C	105	120	130	155	180	>180

На судах морского флота применяют изоляцию таких классов:

1. для обмоток статоров – изоляцию классов H и B;
2. для обмоток роторов – изоляцию классов H, B и F.

Двигатель не используется по мощности полностью, если установившаяся температура  $\theta_{уст}$  меньше максимально допустимой для класса изоляции  $\theta_{дон}$ .

Двигатель перегружен, если установившаяся температура  $\theta_{уст}$  больше максимально допустимой для класса изоляции  $\theta_{дон}$ . Такой режим недопустим, т.к. приводит к высыханию и порче изоляции. Для предотвращения такого режима применяют электротепло-

вые реле, отключающие двигатель от сети.

На судах в режиме S1 работают насосы главного двигателя, вентиляторы МО, насосы электрогидравлической рулевой машины и др. Продолжительность работы электрооборудования в режиме S1 составляет от десятков часов до десятков суток.

### **Кратковременный режим S2**

Кратковременным называют режим, при котором температура двигателя  $t$  за время работы не успевает подняться до установившейся температуры  $\theta_{уст}$ , но за время паузы уменьшается до температуры окружающей среды  $\theta_0$  (рис. В.2, б).

Для этого режима применяют количественный показатель : «длительность работы».

Стандарты устанавливают 3 значения длительности работы электродвигателей: 10, 30 и 60 мин.

На судах в кратковременном режиме работают шлюпочные и траповые лебёдки ( длительность работы 10 мин ) и якорно-швартовные устройства ( длительность работы 30 мин ).

### **Повторно-кратковременный режим S3**

Повторно-кратковременным называют режим, при котором температура двигателя  $t$  за время работы не успевает подняться до установившейся температуры  $\theta_{уст}$ , а за время паузы не успевает уменьшаться до температуры окружающей среды  $\theta_0$  (рис.В2., в).

Этот режим состоит из чередующихся кратковременных рабочих периодов  $t_{раб}$  и пауз  $t_0$ . Время цикла  $t_u = t_{раб} + t_0$  не должно превышать 10 мин. В противном случае наступает кратковременный режим работы S2.

Для этого режима применяют количественный показатель «продолжительность включения двигателя».

Продолжительностью включения двигателя ( ПВ, ПВ% ) называют отношение времени работы двигателя к времени цикла, выраженное в относительных единицах или процентах :

$$ПВ = t_{раб} / t_u, \text{ или } ПВ\% = ( t_{раб} / t_u ) * 100\%.$$

Стандарты устанавливают 4 значения ПВ% : 15, 25, 40 и 60%. Чем больше ПВ%, тем большую часть времени цикла работает двигатель.

На судах в повторно-кратковременном режиме работают двигатели грузовых лебёдок и кранов.

Например, три обмотки статора электродвигатель типа МАП621-4/8/24 ОМ1 с номинальными скоростями 170, 700 и 1400 об/мин имеют такие значения ПВ%: 15, 40 и 40.

Это означает, что обмотка первой скорости ( ПВ% = 15% ) не предназначена для длительной работы и используется как разгонная, для выхода на вторую скорость.

В то же время обмотки вторая и третья скорости ( ПВ% = 40% ) – рабочие, используемые для перемещения груза с достаточно большими скоростями.

### **3. Условия выбора электродвигателей для судовых электроприводов**

Таких условий четыре:

1. номинальное напряжение выбранного двигателя и напряжение судовой сети должны быть одинаковыми;
2. режимы работы выбранного электродвигателя и механизма должны быть одинаковыми;
3. номинальная ( по справочнику ) и расчётная ( по расчёту ) мощности двигателя

должны быть одинаковыми;

4. номинальная ( по справочнику ) и расчётная ( по расчёту ) частоты вращения двигателя должны быть одинаковыми.

При нарушении 1-го условия двигатель сгорит ( если напряжение сети больше напряжения двигателя ) или будет развивать пониженный момент ( если напряжение сети меньше напряжения двигателя ).

При нарушении второго условия двигатель окажется либо перегруженным, либо недогруженным.

Например, если выбрать для брашпиля ( режим S2, 30 мин ) двигатель продолжительного режима, последний не успеет за 30 мин работы нагреться до максимально допустимой классом изоляции температуры, т.е. не будет полностью использован по мощности.

Если выбрать в качестве для электродвигателя охлаждающего насоса главного двигателя ( режим S1 ) двигатель кратковременного режима ( например, S2, 30 мин ), он за короткое время перегреется и выйдет из строя.

При нарушении 3-го условия двигатель окажется либо перегруженным, либо недогруженным. Например, если выбирать двигатель, номинальная мощность которого меньше расчётной, он окажется перегруженным. Лучше выбрать двигатель с небольшим запасом по мощности.

Нарушение 4-го условия на практике неизбежно, т.к. трудно выбрать двигатель, номинальная скорость которого в точности совпадает с расчётной.

В этом случае считают выбор удовлетворительным, если номинальная скорость отличается от расчётной не более чем на  $\pm 5\%$ .

Неодинаковость скоростей электродвигателя и механизма ухудшает условия работы как электродвигателя, так и механизма, и может стать причиной аварии электропривода.

Приведем пример. У центробежного насоса его основные параметры – напор  $H$  ( м ), подача  $Q$  ( м<sup>3</sup> / час ) и мощность  $P$  ( кВт ) прямо пропорциональны соответственно первой, второй и третьей степени частоты вращения:

$$H \equiv \omega, Q \equiv \omega^2, P \equiv \omega^3.$$

Отсюда следует, что если скорость электродвигателя больше номинальной скорости насоса, например, на 10%, т.е.  $\omega' = 1,1 \omega_n$ , то новые значения напора, подачи и мощности составят соответственно

$$H' \equiv \omega' = 1,1 H_n,$$

$$Q' \equiv (\omega')^2 = (1,1)^2 Q_n = 1,21 Q_n,$$

$$P' \equiv (\omega')^3 = (1,1)^3 P_n = 1,331 P_n,$$

т.е. напор увеличится на 10%, подача – на 21%, а мощность насоса ( равная мощности электродвигателя ) - на 31%.

В результате увеличения напора возможен разрыв трубопровода или повреждение арматуры ( клапанов ), а увеличение мощности, развиваемой электродвигателем, приведет к перегрузке и последующему его отключению тепловыми реле.

Наоборот, если скорость электродвигателя меньше номинальной скорости насоса, например, на 10%, т.е.  $\omega' = 0,9 \omega_n$ , то новые значения напора, подачи и мощности составят соответственно

$$H' \equiv \omega' = 0,9 H_n,$$

$$Q' \equiv (\omega')^2 = (0,9)^2 Q_n = 0,81 Q_n,$$

$$P' \equiv (\omega')^3 = (0,9)^3 P_n = 0,729 P_n \approx 0,73 P_n,$$

т.е. напор уменьшится на 10%, подача – на 19%, а мощность насоса ( равная мощ-

ности электродвигателя ) - на 27%.

В результате уменьшения напора и подачи возможны нарушения в работе системы, которую „обслуживает” насос. В то же время электродвигатель окажется недогруженным ( недоиспользованным ) по мощности ( это - бальзам на сердце электромеханику ).

#### 4. Системы буквенно-цифровых обозначений электрооборудования

Промышленность выпускает различные виды электрооборудования сериями.

Серия – это группа или ряд предметов, однородных или обладающих общим признаком ( БСЭ, 1990 г., том 32, стр. 1195 ).

Сериями выпускаются, например, электродвигатели, коммутационно-защитные аппараты ( автоматические выключатели, контакторы, реле и т.п. ), рулевые машины и др.

Соответствующие государственные стандарты устанавливают системы буквенно-цифровых обозначений электрооборудования, в том числе судового.

В качестве примера рассмотрим систему буквенно-цифровых обозначений типоразмеров асинхронных электродвигателей серии 4А.

Серия 4А является массовой серией асинхронных двигателей, рассчитанных на применение в различных областях народного хозяйства, в том числе, на судах морского и тралового флота для привода вспомогательных механизмов ( вентиляторов и насосов ), механизмов рыбообрабатывающих цехов рыбопромысловых судов и т. п.

Эта серия охватывает ряд типоразмеров электродвигателей мощностью от 0,06 до 400 кВт.

В серии принята следующая система обозначений:

$$\begin{array}{cccccccc} 4A & X & X & X & X & X & X & X \\ = & = & = & = & = & = & = & = \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \end{array},$$

где: 1 – обозначение серии ( четвёртая серия асинхронных двигателей );

2 - исполнение двигателя по способу защиты: буква Н – исполнение IP23, отсутствие буквы означает исполнение IP44;

3- исполнение асинхронного двигателя по материалу станины и щитов:

А – станина и щиты алюминиевые, Х – станина алюминиевая, щиты чугунные; отсутствие буквы – станина и щиты чугунные или стальные;

4 – установочный размер по высоте оси вращения, мм

5 – установочный размер по длине станины: буквы S, M или L ( S –от «short» - меньший, M – от «middle» – средний, L – от «long» – больший );

6 – длина сердечника: А – меньшая, В – большая при условии сохранения установочного размера; отсутствие буквы означает, что при данном установочном размере ( S, M или L ) выполняется только одна длина сердечника;

7 – число полюсов электродвигателя;

8 – климатическое исполнение и категория размещения электродвигателя на судне.

**Пример.** Объяснить значение букв и цифр в обозначении асинхронного электродвигателя 4АНХ225S4ОМ2.

4А - четвёртая серия асинхронных двигателей;

Н – защитное исполнение корпуса типа IP23 ( брызгозащищённое );

Х - станина алюминиевая, щиты чугунные;

225 - высота оси вращения, мм;

S – меньший установочный размер по длине станины;

4 – число полюсов асинхронного электродвигателя;

ОМ – двигатель предназначен для эксплуатации в неограниченных районах плавания;

2 - двигатель предназначен для размещения на открытом воздухе или в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха незначительно отличаются от колебаний на открытом воздухе.

Следует обратить особое внимание на такой параметр, как установочный размер по высоте оси вращения ( в данном примере – это высота оси вращения, равная 225 мм ).

Если высоты осей вращения валов механизма ( например, насоса ) и электродвигателя неодинаковы, установка механизма и насоса на общей раме затрудняется.

### 5. Международная система единиц физических величин

История единиц физических величин насчитывает столько веков, сколько существует «*homo sapiens*», т.е. человек разумный ( к этому определению понятию относимся и мы с вами - наверное ).

За три тысячи лет в древнем Египте уже применялись довольно точно установленные и узаконенные единицы длины, площади и веса. Строительство ирригационных систем, возведение храмов и дворцов, сооружение гигантских пирамид было бы невозможно без измерений.

На протяжении веков возникали, применялись и исчезали разные системы измерения физических величин. В разных странах эти системы были разными. Например, в Англии, США и других англоязычных странах применялась дюймовая система измерения длины, в странах Европы - метрическая

Разнобой и хаос в области измерения физических величин осложнял торговлю отдельно взятых стран и тем более международную торговлю. При обмене научной информацией, изготовлении механизмов и устройств позникали очень серьезные проблемы.

Вопрос о создании Международной системы единиц впервые был поднят еще в 1913 г. на V Генеральной конференции по мерам и весам ( ГКМВ ). Однако подготовка Международной системы единиц вступила в практическую стадию лишь в середине XX века и завершилась принятием в 1960 году ныне существующей системы СИ ( *System International* ) измерения единиц.

В соответствии с действующими стандартами ( ГОСТ 8.417-81 и СТ СЭВ 1052-78 ) установлены три вида единиц: основные, дополнительные ( табл. В.9 ) и производные ( табл. В.10 )

Таблица В.9.

#### Основные и дополнительные единицы СИ

Величина		Единица		
		Наименование	Обозначение	
Наименование	Размерность			Международное
Длина	L	метр	m	м
Масса	M	килограмм	kg	кг
Время	T	секунда	s	с
Сила электрического тока	I	ампер	A	А
Термодинамическая температура	$\theta$	кельвин	K	К
Плоский угол	-	радиан	rad	рад

Таблица В10.

#### Производные единицы СИ

Величина		Единица		
		Наименование	Обозначение	
Наименование	Размерность			Международное

Скорость	$LT^{-1}$	метр в секунду	m/s	м/с
Угловая скорость	$T^{-1}$	радиан в секунду	rad/s	рад/с
Частота	$LT^{-2}$	герц	Hz	Гц
Сила, вес	$LMT^{-2}$	ньютон	N	Н
Давление	$L^{-1}MT^{-2}$	паскаль	Pa	Па
Энергия, работа, количество теплоты	$L^2MT^{-2}$	джоуль	J	Дж
Мощность, поток энергии	$L^2MT^{-2}$	ватт	W	Вт
Момент силы	$L^2MT^{-2}$	ньютон-метр	N*m	Н*м
Электрическое напряжение, электрический потенциал, ЭДС	$L^2M^{-1}T^4I^{-1}$	вольт	V	В
Электрическая емкость	$L^{-2}MT^{-2}I^2$	фарад	F	Ф
Электрическое сопротивление	$L^2MT^3I^{-2}$	ом	$\Omega$	Ом
Электрическая проводимость	$L^{-2}M^{-1}T^{-3}I^2$	сименс	S	См
Количество электричества	TI	кулон	C	Кл
Напряженность электрического поля	$LMT^{-3}I^{-1}$	вольт на метр	V/m	В/м
Абсолютная диэлектрическая проницаемость	$L^{-3}M^{-1}T^4I^2$	фарад на метр	F/m	Ф/м
Поток магнитной индукции, магнитный поток	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	вебер	Wb	Вб
Магнитная индукция	$LMT^{-2}I^{-1}$	тесла	T	Тл
Индуктивность, взаимная индуктивность	$L^2T^{-2}I^{-2}$	генри	H	Гн
Напряженность магнитного поля	$L^{-1}I$	ампер на метр	A/m	А/м
Абсолютная магнитная проницаемость	$LMT^{-2}I^{-2}$	генри на метр	H/m	Гн/м

Десятичные кратные и дольные единицы, а также их наименования и обозначения образуются с помощью множителей, приставок, приведенных в таблице В11.

Таблица В11.

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц

Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		Международное	Русское
$10^{18}$	экса	Е	Э
$10^{15}$	пета	Р	П
$10^{12}$	тера	Т	Т

$10^9$	гига	G	Г
$10^6$	мега	M	М
$10^3$	кило	k	к
$10^2$	гекто	h	г
$10^1$	дека	da	да
$10^{-1}$	деци	d	д
$10^{-2}$	санти	c	с
$10^{-3}$	милли	m	м
$10^{-6}$	микро	$\mu$	мк
$10^{-9}$	нано	n	н
$10^{-12}$	пико	p	п
$10^{-15}$	фемто	f	ф
$10^{-18}$	атто	a	а

## 6. Единицы, часто применяемые в судовой электротехнике

### *Единицы измерения скорости при поступательном движении*

При поступательном движении скорость движущихся масс называется «линейная скорость», обозначается латинской буквой «v» и измеряется в «м/с» (метр в секунду) или «м/мин» (метр в минуту). Например, скорость подъёма груза электропривода лебёдки  $v = 30$  м/мин.

На практике применяют внесистемные (не соответствующие системе СИ) единицы измерения скорости, например, километр в час (км/ч), узел = 1852 м/ч (1852 м – длина морской мили) и др.

### *Единицы измерения скорости при вращательном движении*

При измерении скорости *вращающихся* масс применяют два наименования скорости:

1. «частота вращения», обозначается латинской буквой «n» и измеряется в «об/мин» (оборот в минуту). Например, частота вращения двигателя  $n = 1500$  об/мин.

Эта единица скорости – внесистемная, т.к. в ней используется внесистемная единица времени, а именно – минута (в системе СИ время измеряется в секундах).

Тем не менее эта единица до сих пор широко применяется на практике. Например, в паспортных данных электродвигателей скорость вала указывается именно в об/мин.

2. «угловая скорость», обозначается латинской буквой « $\omega$ » и измеряется в «рад/с» (радиан в секунду) или, что одно и то же,  $\text{с}^{-1}$  (секунда в минус первой степени).

Например, угловая скорость электродвигателя  $\omega = 157 \text{ с}^{-1}$ .

Напомним, что радиан – вторая, кроме знакомого нам пространственного градуса ( $^\circ$ ), единица измерения углового расстояния, равная  $360^\circ / 2\pi = 360 / 2 * 3,14 = 57^\circ 36'$  (пять десятых семь градусов и 36 минут).

Впервые возникла в расчетах, где часто встречалось число  $360^\circ / 2\pi$ .

Эта единица скорости – системная, т.к. в ней используется системная единица времени, а именно – секунда.

На практике надо уметь быстро переходить от одной единицы скорости к другой и наоборот.

Поэтому выведем соотношение между этими двумя единицами.

Угловая скорость ( через частоту вращения ):

$$\omega = 2 \pi n / 60 = n / ( 60 / 2 \pi ) = n / 9,55 \approx n / 10 \quad ( B.1 ).$$

Частота вращения ( через угловую скорость ):

$$n = 60 \omega / 2 \pi = 60 \omega / 2 * 3,14 = 9,55 \omega \approx 10 \omega \quad ( B.2 ).$$

Приведем два примера.

*Пример №1.*

В паспорте электродвигателя указана номинальная скорость вала  $n = 1500$  об/мин.

Найти угловую скорость вала этого электродвигателя.

Угловая скорость вала

$$\omega = n / 9,55 = 1500 / 9,55 = 157 \approx 150 \text{ с}^{-1}.$$

*Пример №2.*

В паспорте электродвигателя указана угловая скорость вала электродвигателя

$$\omega = 314 \text{ с}^{-1}.$$

Найти частоту вращения вала этого электродвигателя.

Частота вращения вала

$$n = 9,55 \omega = 9,55 * 314 = 3000 \approx 3140 \text{ об/ мин.}$$

### ***Единицы измерения давления***

В качестве единицы измерения на судах применяются две единицы:

1. техническая атмосфера ( ат, at ), при этом  $1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2$  ( читается так: один килограмм-сила на квадратный сантиметр );

2. паскаль ( Па, Pa ), при этом  $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$  ( читается: один ньютон на квадратный метр ).

Поскольку паскаль – мелкая единица, на практике применяют более крупную:

1 МПа ( один мегапаскаль ), при этом  $1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}$ .

Соотношение между этими единицами такое:

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 9,8 * 10^4 \text{ Па} = 0,098 \text{ МПа} \approx 0,1 \text{ МПа}$$

$$1 \text{ МПа} = 10,204 \text{ ат} \approx 10 \text{ ат.}$$

*Пример №3.*

Давление воды в системе составляет  $P = 4 \text{ кгс/см}^2$  ( 4 технических атмосферы ).

Перевести это давление в мегапаскали.

$$P = 4 \text{ кгс/см}^2 \approx 4 * 0,1 = 0,4 \text{ МПа}$$

*Пример №4.* Давление воздуха в баллонах пускового воздуха составляет 4 МПа.

Перевести это давление в технические атмосферы.

$$P = 4 \text{ МПа} \approx 4 * 10 \approx 40 \text{ ат.}$$