



Учредители: Издательский дом "Панорама" (Москва)

В каждом номере - обзоры, экспертиза и технические параметры новых типов оборудования. Рекомендации по эксплуатации, техническому обслуживанию. Мнения экспертов о новом высокоэффективном оборудовании. Ремонт, новые изоляционные материалы, диагностика и испытания. Мониторинг низковольтного и высоковольтного оборудования. Советы специалистов, вопросы энергосбережения, пошаговые инструкции. Новые типы вспомогательного электрооборудования: обзоры, технические параметры, экспертиза и мн. др.

# Содержание

Тема номера: Эксплуатация и техническое обслуживание

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

Анализ синхронного двигателя как основной части современного мощного электропривода  
*Бычков Е. В., Васенин А. Б., Степанов С. Е.*.....3

Формализация электромагнитных процессов в электродвигателях технологических установок  
*Титов В. Г., Крюков О. В., Туганов Р. Б.*.....12

Один из подходов решения проблемы повышения надежности работы высоковольтных линий электропередачи  
*Пинчук А. В., Дьяченко М. Д.*.....28

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Анализ технической возможности ввода в работу конденсаторных установок для снижения потерь в распределительных сетях нефтеперерабатывающего предприятия  
*Чернев М. Ю., Итяшев Р. А.*.....34

## РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

Сравнительный анализ рыночных моделей ПЛК  
*Мустаев А. Ф.*.....44

Анализ эффективности разработки и внедрения высокоточных устройств определения мест повреждения на ВЛ 10 кВ  
*Рябов С. И., Елфимов С. А., Гончаров Е. С.*.....48

Анализ эффективности работы измерительных приборов и автоматики на воздуходелительных установках типа АК40/35  
*Нитченко К. А., Шаранов А. И., Курина А. В.*.....51

## НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ

Разработка мероприятий безаварийной эксплуатации электрооборудования для агропромышленного объекта  
*Мамонтов А. Ю.*.....54

Разбор несчастного случая с поражением электрическим током  
*Порочкин Д. Б.*.....64

Безопасность применения силиконовой трансформаторной жидкости  
*Копейкина Т. В.*.....70

Разработка конструкции электропровода для предотвращения обледенения  
*Таймаров М. А., Ахметова Р. В.*.....76



Бычков, Е. В. Анализ синхронного двигателя как основной части современного мощного электропривода / Е. В. Бычков, А. Б. Васенин, С. Е. Степанов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт, 2020. - № 11. - С. 3-11.

*В статье рассмотрены особенности применения синхронных электрических машин в мощных электроприводах ответственных технологических установок. Представлены основные виды синхронных двигателей, отличающихся системами возбуждения, и математическое описание на основе векторных диаграмм. Получены статические характеристики сетевого синхронного двигателя в режимах асинхронного пуска и вхождения в синхронизм при автоматическом регулировании возбуждения.*

Дьяченко, М. Д. Один из подходов к решению проблемы повышения надежности работы высоковольтных линий электропередачи / А. В. Пинчук, М. Д. Дьяченко // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт, 2020. - № 11. - С. 28-32.

*В статье рассмотрены основные предпосылки необходимости создания системы мониторинга и диагностики высоковольтной сети.*



## Эксплуатация и техническое обслуживание

Титов, В. Г. Формализация электромагнитных процессов в электродвигателях технологических установок / В. Г. Титов, О. В. Крюков, Р. Б. Туганов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт, 2020. - № 11. - С. 12-26.



### 14 ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

математические модели процессов старения изоляции СД в соответствии с этими эксплуатационными факторами.

**Нагрев статорной обмотки электродвигателя.** Для мониторинга и прогнозирования температурных режимов статорной изоляции обмоток СД целесообразно использовать одну из тепловых моделей нагрева двигателя переменного тока [18–20]. В инженерной практике тепловых расчетов широкое распространение получило упрощенное представление СД как однородного тела с одним источником тепла. В соответствии с одноступенчатой теорией нагрева тепловой баланс СД с учетом ряда упрощающих допущений выражается уравнением:

$$C \frac{dy}{dt} + A \cdot v = \Delta P, \quad (1)$$

где  $C$  – теплоемкость двигателя;  
 $A$  – теплоотдача статора СД;  
 $v$  – превышение температуры двигателя над окружающей средой;  
 $\Delta P$  – потери мощности.

Решение уравнения (1) для общего случая нагрева машины имеет вид:

$$v = \frac{\Delta P}{A} \cdot k \cdot e^{-k \cdot t} \quad (2)$$

где  $k$  – постоянная интегрирования, определяемая из начальных условий;  
 $T = C/A$  – постоянная времени нагрева, неизменяемая в процессе нагрева.

Однако модель (2) для мощных машин, отличающихся большими габаритами и инерционности, не отвечает требованиям адекватности математического описания для оперативного мониторинга состояния изоляции статорной обмотки.

Позтому более точной для прогнозирования анализа температур обмоток СД ЭППА является трехступенчатая теория нагрева. В основу нее положена физическая картина процесса нагрева СД как системы, состоящей из трех взаимосвязанных в тепловом отношении тел (рис. 1): обмотки статора (магнитопластовой и лобовой частей), самого статора (сталь в сердечнике и корпус) и ротора

(обмотка возбуждения, сталь сердечника, вала, подшипников). При этом сделаны обобщающие допущения: каждая составляющая представляет собой однородное тело, греющие потери являются функциями превышения температуры, теплоемкости не зависят от температуры, теплоотдача во внешнюю среду пропорциональна разности температур, потери в стали постоянны.

На рис. 1 изображена модель СД, где  $v_1, v_2, v_3$  – превышения температур обмотки статора, корпуса статора и ротора над температурой окружающей среды;

$C_1, C_2, C_3$  – теплоемкости обмотки статора, корпуса и ротора;

$A_1, A_2, A_3$  – коэффициенты теплоотдачи соответствующих частей СД в окружающей среде;

$A_{12}, A_{21}$  – коэффициенты теплоотдачи между телами.

Тепловой баланс СД как системы трех совместно нагреваемых тел в установившемся тепловом режиме при неизменном токе нагрузки описывается системой линейных дифференциальных уравнений:

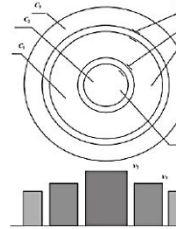


Рис. 1. Трехступенчатая тепловая модель нагрева СД

*Рассмотрены системы мощных высоковольтных электродвигателей, которые формализуются с различной степенью детализации характеристик, – по состоянию их функциональных узлов, режимным параметрам, тепловому и вибрационному состоянию, схеме внешних подключений и внутренних соединений. Показано, что наиболее целесообразной при выборе модели мониторинга электродвигателей является функциональная диагностическая модель, при использовании которой входные воздействия определены заранее рабочим алгоритмом работы объекта по четырем эксплуатационным факторам. Приводятся методы формализации процессов по каждому из них.*

Мустаев, А. Ф. Сравнительный анализ рыночных моделей ПЛК / А. Ф. Мустаев // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт, 2020. - № 11. - С. 44-46.

*В статье производится сравнение некоторых моделей программируемых логических контроллеров (ПЛК), используемых в различных отраслях промышленности*



Рябов, С. И. Анализ эффективности разработки и внедрения высокоточных устройств определения мест повреждений на ВЛ 10 КВ / С. И. Рябов, С. А. Елфимов, Е. С. Гончаров // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт, 2020. - № 11. - С. 48-50.

*Работа посвящена анализу эффективности разработки и внедрения высокоточных устройств определения мест повреждения на ВЛ 10 кВ. Благодаря внедрению цифровых устройств снижаются эксплуатационные и ремонтные затраты в электросети 10 кВ, что позволяет добиться существенной экономии денежных средств.*



Нитченко, К. А. Анализ эффективности работы измерительных приборов и автоматики на воздуходелительных установках типа АК 40/35 / К. А. Нитченко, А. И. Шарапов, А. В. Курина // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт, 2020. - № 11. - С. 51-53.

*Автор рассматривает систему измерения и контроля технологических параметров основных узлов и оборудования воздуходелительных установок типа АК 40/32.*

Современную промышленность невозможно представить без применения элементов электроники и сложной вычислительной техники. Практически все производственные процессы не обходятся без систем автоматики и цифровизации. Для того, чтобы все технологические процессы велись без сбоев и рамках установленных границ, используются контрольно- измерительные приборы и автоматика на современном производстве. Именно благодаря приборам КИПиА можно облегчить ведение технологического процесса с меньшими потерями для предприятия любого типа.

В настоящее время приборы в большинстве своем многофункциональны, они позволяют не только качественно измерять параметры, но и оказывать регулирующее воздействие на их изменение в рамках технологических инструкций и требованиям процесса. Регулировка параметров происходит в соответствии с заданными инженерами или обслуживающим персоналом значениями. Это становится возможным благодаря тому, что при создании приборов КИПиА разработчики предусматривают в их составе элементы микропроцессорных схем с функциональными возможностями программирования. Современная контрольно-измерительная техника с автоматическими возможностями дает практически безграничные возможности автоматизации производственных процессов во всех областях науки, техники и производства.

## Надежность и безопасность

Порочкин, Д. Б. Разбор несчастного случая с поражением электрическим током / Д. Б. Порочкин // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт, 2020. - № 11. - С. 64-69.

*В статье подробно рассмотрен несчастный случай, приведены комментарии специалиста в сфере охраны труда. Источником информации о несчастном случае, а также о его причинах, выявленных в ходе расследования, является Ростехнадзор.*



Копейкина, Т. В. Безопасность применения силиконовой трансформаторной жидкости / Т. В. Копейкина // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт, 2020. - № 11. - С. 70-75.

*В статье рассматривается эффективность применения силиконовой трансформаторной жидкости как охлаждающей и диэлектрической жидкости для заполнения масляных трансформаторов и другого оборудования для работы при очень низких и очень высоких температурах, и особенно в тех случаях, когда требуется высокая термостабильность и наименее низкое значение тепла, выделяемого при сгорании. Рассмотрены эксплуатационные свойства силиконовой трансформаторной жидкости. Сделан вывод о безопасности применения жидкого диэлектрика по сравнению с другими видами диэлектриков, применяемых в силовых трансформаторах.*

Таймаров, М. А. Разработка конструкции электропровода для предотвращения обледенения / М. А. Таймаров, Р. В. Ахметова // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт, 2020. - № 11. - С. 76-78.



*В статье рассмотрены многожильные провода и проволоки круглого сечения, проблемы обледенения таких проводов. В данной статье предложено техническое конструкционное решение, заключающееся в разрыве ледяной корки путем увеличения диаметра провода за счет выступов проволок внутреннего повива при их перемещении. Проведено исследование предлагаемой конструкции и результаты.*

Многожильные провода из проволоки круглого сечения в настоящее время заменяются проводами с проволокой Z-образного профиля. Внутри таких проводов содержится центральная алюминиевая основа с пазами, в которых находятся трубки из термопластика с заключенными в них оптическими волокнами.

Наружный слой, образованный из скрученных Z-образных алюминиевых проволок и расположенный концентрично поверх внутреннего слоя, причем формы Z-образных алюминиевых проволок и направления их повива во внутреннем и наружном слоях взаимно противоположны друг другу.

Однако проблемой остается обледенение таких проводов. В настоящей статье предложено техническое конструкционное решение, заключающееся в разрыве ледяной корки путем увеличения диаметра провода за счет выступов проволок внутреннего повива при их перемещении.