

35 кВ - коммутационные аппараты МКП-35-1000-25 и МКП-35-1500 с измерительными трансформаторами тока типа ТВД-35/МКП, ТВ35-Ш-У2; вакуумный выключатель ВБПС-35 Ш-25/1250 УХЛ1 с пружинным приводом типа ППУ-600.

10 кВ - для коммутации электрических цепей напряжением 10 кВ в номинальных и аварийных режимах работы применяются выключатели следующих типов: масляные: 12xВМГ-133-2/600, 3xМГГ-10-2000, 3xВМП(Э)-10/1000, 2xВМПЭ-10/630, вакуумные выключатели 10xВВТЭ-М-10-20/630 [2].

Для защиты изоляции обмоток авто- и трансформаторов от коммутационных и волн атмосферных перенапряжений, набегающих с линий электропередачи, установлены ограничители перенапряжения типа ОПН-220, ОПН-110, ОПН-35, ОПН-У-35/40,5-2УХЛ1, ОПН-10; вентильные разрядники типа РВО-10/2000, РВ-35.

*Схемы электрических соединений распределительных устройств подстанции*

Для 220 кВ и 110 кВ используется схема одна рабочая и обходная система шин. Ошиновка распределительного устройства и воздушные линии выполнены гибким многопроволочным сталеалюминевым проводом АС-300, поддерживаются к линейным порталам и сборным шинам растяжками из подвесных гирлянд изоляторов типа ПС. Изоляция распределительного устройства принята опорная и подвесная.

Для 35 кВ применена схема: две системами сборных шин, имеющие связь посредством отдельного выключателя.

Закрытое распределительное устройство напряжением 10 кВ имеет одну систему сборных шин с делением на секции.

#### Литература

1. ГОСТ 18624-73. Реакторы электрические. – Введ. 1974-07-01. – М.: Стандартинформ, 2005. – 18 с.
2. ГОСТ Р 52565-2006. Выключатели переменного тока на напряжение от 3 до 750 кВ. – Введ. 2007-04-01. – М.: Стандартинформ, 2007 – 86 с.
3. ГОСТ Р 56302-2014. Оперативно-диспетчерское управление. Диспетчерские наименования объектов электроэнергетики и оборудования объектов электроэнергетики. – Введ. 2015-09-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 16 с.
4. Инструкция по эксплуатации трансформаторов [Электронный ресурс] : СТО 56947007-29.180.04.165–2014 : утв. ОАО «ФСК ЕЭС» 02.03.12 : введ. в действие с 02.03.12. – М.: Официальный интернет-портал www.fsk-ees.ru, 2007. – 52 с.

### ПРОБЛЕМА САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

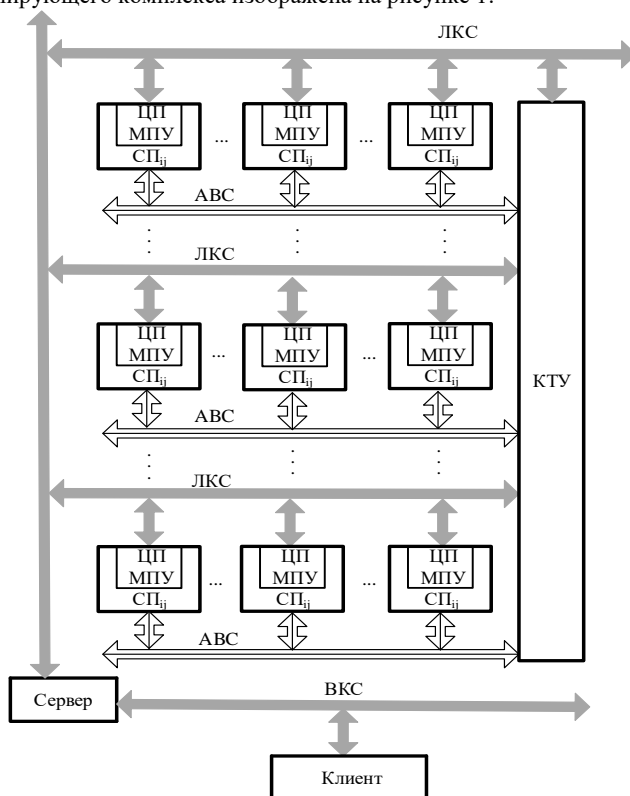
**Сулайманова В.А., Гусев А.С.**

Научный руководитель профессор А.С. Гусев

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

На предприятиях нефтегазовой отрасли для привода различных механизмов применяются электродвигатели, бесперебойная работа которых является важной составляющей для обеспечения непрерывности сложного технологического процесса. Нарушение нормальной работы двигателей происходит из-за кратковременных снижений или исчезновений напряжения на шинах питания, что может привести к срыву технологического процесса, остановке, простоям, повреждению оборудования, возникновению опасных ситуаций для жизни и здоровья людей [3, 4]. Однако исключить такие режимы полностью практически невозможно, поэтому необходимо обеспечить восстановление нормальной работы двигателей за допустимое время. В основном причинами нарушений являются различные короткие замыкания в сети, вследствие которых происходит торможение и самозапуск двигательной нагрузки. Уровень снижения напряжения и длительность протекания такого режима определяют возможность сохранения устойчивости двигателей. Моделирование и исследование процессов при различных нормальных и аномальных режимах в двигателях с учетом приводимых механизмов, автоматического регулятора возбуждения для синхронных двигателей, а также средств релейной защиты, автоматики и системах электроснабжения в целом позволяет выявлять конкретные причины нарушения устойчивой работы двигателей, условия ее обеспечения и средства их реализации. Для проведения исследований предлагается использовать всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем [1], позволяющий воспроизводить процессы в двигателях и другом оборудовании системы электроснабжения в нормальных, аварийных и послеаварийных режимах их работы, необходимые для анализа и оценки условий работы оборудования, участвующего в данных процессах. Основными объектами исследования являются двигатели, полнота и детализация математического описания которых оказывает влияние на достоверность результатов моделирования. В соответствии с этим разработанная всережимная математическая модель двигателя содержит полную систему дифференциальных уравнений и реализуется в специализированном процессоре всережимного моделирующего комплекса [5]. Данная модель включает также математические модели приводимых механизмов, системы возбуждения и автоматических регуляторов для синхронных двигателей. Кроме того, все остальные элементы моделируемой схемы должны воспроизводиться также адекватными моделями для получения достаточно полных и достоверных результатов.

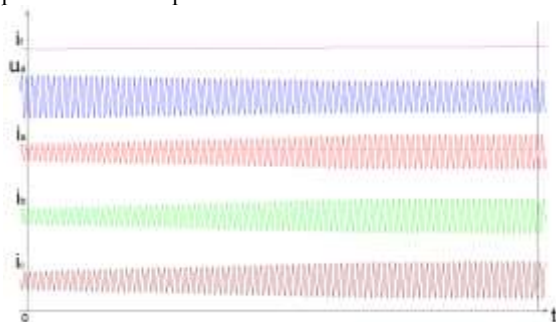
Структура моделирующего комплекса изображена на рисунке 1:



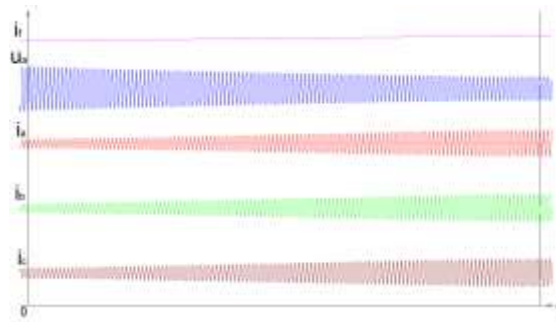
**Рис. 1. Структура всережимного моделирующего комплекса реального времени электроэнергетических систем, где СП – специализированный процессор, ЦП – центральный процессор, МПУ – микропроцессорный узел, КТУ – коммутатор трехфазных узлов, ЛКС – локальная компьютерная сеть, ВКС – внешняя компьютерная сеть**

Специализированные процессоры обеспечивают всережимное моделирование процессов в оборудовании и всей моделируемой схеме. Все специализированные процессоры объединены согласно моделируемой схеме при помощи коммутатора трехфазных узлов. Микропроцессорные узлы соединены с сервером для информационного обмена. Сервер обеспечивает связь с клиентами и реализует все информационно-управляющие возможности.

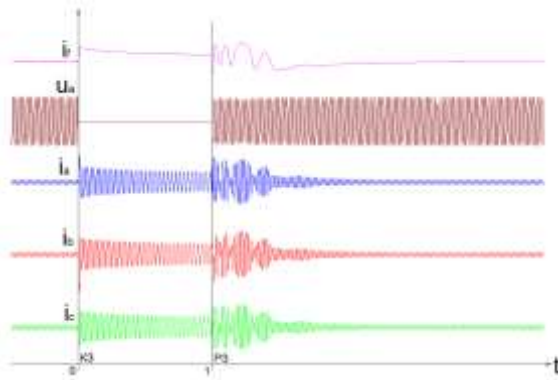
Проведены эксперименты различных кратковременных нарушений электроснабжения синхронных двигателей насосов Томского нефтехимического комбината. Синхронные двигатели имеют автоматические регуляторы возбуждения, которые осуществляют регулирование тока возбуждения  $i_f$  при изменении напряжения на шинах. По результатам моделирования при снижении напряжения до  $0.7U_{ном}$  и  $0.5U_{ном}$  токи статора  $i_a, i_b, i_c$  увеличиваются (рис. 2, 3), самозапуск возможен, однако настройки защиты минимального напряжения препятствует обеспечению самозапуска,  $U_{ср} = 0.7U_{ном}$  и  $t_{ср} = 0.5с$ . В случае трехфазного короткого замыкания (рис. 4, 5) напряжение на шинах питания исчезает двигатели начинают тормозиться, при восстановлении напряжения происходит самозапуск с различными значениями токов самозапуска в зависимости от длительности протекания этого режима.



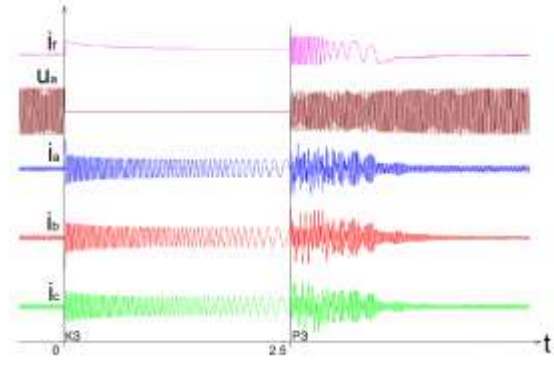
**Рис. 2. Результаты моделирования процессов в синхронном двигателе в случае снижения напряжения до  $0.7U_{ном}$**



**Рис. 3. Результаты моделирования процессов в синхронном двигателе в случае снижения напряжения до  $0.5U_{ном}$**



**Рис. 4. Результаты моделирования процессов в синхронном двигателе в случае трехфазного короткого замыкания на шинах питания длительностью 1с**



**Рис. 5. Результаты моделирования процессов в синхронном двигателе в случае трехфазного короткого замыкания на шинах питания длительностью 2.5с**

Для оценки условий эксплуатации оборудования, а именно термической стойкости кабелей ввода и присоединений двигателей, рассмотрены аperiodические составляющие токов коротких замыканий, рассчитаны тепловые импульсы и определены минимально допустимые сечения. В данных режимах кабели ввода и присоединений удовлетворяют условию термической стойкости. Также проведен анализ токов самозапуска двигателей, которые не должны превышать в 1,7 раза пусковой ток [2] данных типов двигателей.

Согласно моделированию установки защиты минимального напряжения необходимо изменить на  $U_{cp} = 0.5U_{ном}$  и  $t_{cp} = 10с$ , за это время короткое замыкание устраняется средствами релейной защиты и автоматики, напряжение восстанавливается, токи статора не превышают допустимых значений. При трехфазных коротких замыканиях длительностью менее 2.5 с условия эксплуатации оборудования также не превышают допустимых значений, самозапуск возможен.

Исследование проблемы самозапуска двигателей в каждом конкретном случае имеет свои особенности, детальный учет условий функционирования оборудования позволяет получить более достоверные результаты и обеспечить надежное электроснабжение.

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, Госзадание "Наука" № FSWW-2020-0017.*

#### Литература

1. Голоднов Ю. М., Хоренян А. Х. Самозапуск электродвигателей. – Энергия, 1974.
2. Гуревич Ю. Е., Кабиков К. В. Особенности электроснабжения, ориентированного на бесперебойную работу промышленного потребителя. – 2005.
3. Носов К. Б., Дворак Н. М. Способы и средства самозапуска электродвигателей //М.: Энергоатомиздат. – 1992.
4. Сулайманов А.О., Суворов А.А., Рубан Н.Ю., Уфа Р.А., Андреев М.В., Боровиков Ю.С., Гусев А.С. Концепция и базовая структура всережимного моделирующего комплекса //Газовая промышленность. – 2017. – №. 5 (752). – С. 18-27.
5. Сулайманова В. А. и др. Проблема адекватного анализа устойчивости узлов двигательной нагрузки систем электроснабжения, условий ее обеспечения и средства ее решения //Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22. – №. 4 (135).

### ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ФАКТИЧЕСКУЮ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКУЮ ИНФОРМАЦИЮ ОБ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ В ЦИКЛЕ ПЛАНИРОВАНИЯ

**Томалев А.А., Разживин И.А.**

Научный руководитель - доцент М.В. Андреев

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия**

В процессе цифровизации энергетики всё большее применение находят программные комплексы, алгоритмы работы которых для определения максимально допустимых перетоков и аварийно допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях используют актуальные значения телеметрии о параметрах энергосистемы (значения перетоков активной и реактивной мощности, величины нагрузки в узлах, значения напряжения на шинах станций и подстанций) в режиме он-лайн и выполняют функцию оценивания состояния. Эффективность их применения подтверждена опытом эксплуатации [1, 3] и составляет до 800 МВт в зависимости от состава контролируемого сечения и перечня влияющих на величину допустимых перетоков активной мощности факторов. Как уже говорилось ранее, основной целью применения вышеуказанных программных комплексов является использование актуальной телеметрической информации о режиме работы энергосистемы и в режиме он-лайн определение величин допустимых перетоков активной мощности, которые, как