

# Исследование электроэнергетических систем и микропроцессорных устройств автоматики на электродинамической модели МЭИ

БЕЙМ Р. С., СЫРОМЯТНИКОВ С. Ю., кандидаты техн. наук, МЭИ (ТУ)

**Э**лектродинамическая (физическая) модель (ЭДМ), имеющаяся на кафедре "Электроэнергетические системы" МЭИ (ТУ), позволяет адекватно воспроизводить различные нормальные и аварийные режимы электроэнергетической системы (ЭЭС). Модель предназначена для исследования свойств новых управляемых элементов ЭЭС; испытания натурных устройств автоматического регулирования, противоаварийного управления, релейных защит в условиях, максимально приближенных к реальным, а также для проверки и доработки алгоритмов микропроцессорных регуляторов и устройств автоматики (см. статью: Шаров Ю. В., Бейм Р. С., Карымов Р. Р., Сыромятников С. Ю. Электродинамическая модель электроэнергетических систем // Электрические станции. 2005. № 5. С. 58 – 63).

Рассматриваемая ЭДМ является автономной энергосистемой в трехфазном исполнении небольшой мощности — порядка нескольких десятков киловатт, имеющей электрическую связь с системой Мосэнерго. Эта модель воспроизводит электромагнитные и электромеханические процессы, происходящие в электрической части системы: генераторах с их регуляторами возбуждения, трансформаторах, ЛЭП, электродвигателях и различного рода нагрузках (осветительных приборах, реостатных и пр.).

Кроме физических моделей основного энергетического оборудования, определяющего динамические свойства ЭЭС (модели генераторов, трансформаторов, асинхронных двигателей нагрузки), ЭДМ содержит математические (аналоговые) моделирующие и регулирующие устройства (модели ЛЭП, турбин, регулятора скорости,

автоматического регулятора возбуждения — АРВ).

Оборудование ЭДМ размещено на трех этажах. На верхнем находится щит управления моделью (рис. 1), на среднем — модели ЛЭП и шунтирующих реакторов, коммутационный щит, коммутационная аппаратура и измерительные трансформаторы. На нижнем этаже расположен машинный зал (рис. 2), в котором установлены модели генераторных агрегатов и силовых трансформаторов, а также асинхронная, реостатная и ламповая нагрузки.

## Основные технические параметры ЭДМ

Модель содержит пять блоков, моделирующих агрегаты электростанций — первичные двигатели, синхронные генераторы, регуляторы скорости и возбуждения, повышающие трансформаторы. В состав ЭДМ входят модельные турбогенераторы мощностью, кВ · А: 25 (1 шт.), 30 (1 шт.) и 15 (3 шт.). Суммарная мощность модельной нагрузки составляет 100 кВт (в том числе асинхронная — 40, реостатная — 45, ламповая — 15).

Имеются также трансформаторы связи с энергосистемой "бесконечной мощности" (шинами Мосэнерго). Напряжение модели ЛЭП составляет 600 – 900 В. Максимальная суммарная длина моделируемых ЛЭП равна 6000 км. На рассматриваемой ЭДМ можно моделировать ЛЭП напряжением до 1150 кВ включительно. Имеющееся оборудование позволяет создавать физические модели реальных энергосистем небольшой размерности (эквивалентированной ЭЭС или ее части, содер-

жающей не более пяти моделируемых электростанций).

## Области применения ЭДМ

Это, во-первых, различные исследования: конкретной сложной ЭЭС или ее части в целях определения пределов по статической, динамической и результирующей устойчивости (сравнение результатов экспериментов на ЭДМ с расчетными значениями), а также новых элементов ЭЭС, имеющих недостаточно развитое математическое описание, с помощью их физических моделей (оценка влияния этих элементов на режимы ЭЭС).

К таким новым элементам относятся управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы (УШР), управляемые самокомпенсирующиеся ЛЭП, накопители энергии и пр. Разработанные методы моделирования позволяют рассчитывать параметры моделей этих элементов, исследовать их характеристики, синтезировать алгоритмы и законы регулирования.

Во-вторых, это испытания натурных образцов новых устройств автоматического регулирования, противоаварийного управления, релейных защит. И, наконец, проверка теоретических положений, допущений и приближений в аналитических методах. Сравнение расчетных данных, которые получены с помощью ЭВМ по алгоритмам, составленным на основе вновь разработанных аналитических методов, с данными экспериментальных исследований на ЭДМ позволяет оценить погрешности тех или иных допущений, показать границы их использования, проверить и доработать расчетные (исследовательские) программы для ЭВМ.

В современных ЭЭС все более широко применяются устройства релейной защиты и противоаварийной автоматики, а также системы управления силовым оборудованием на базе микропроцессорной техники. Поэтому одно из новых важных направлений использования

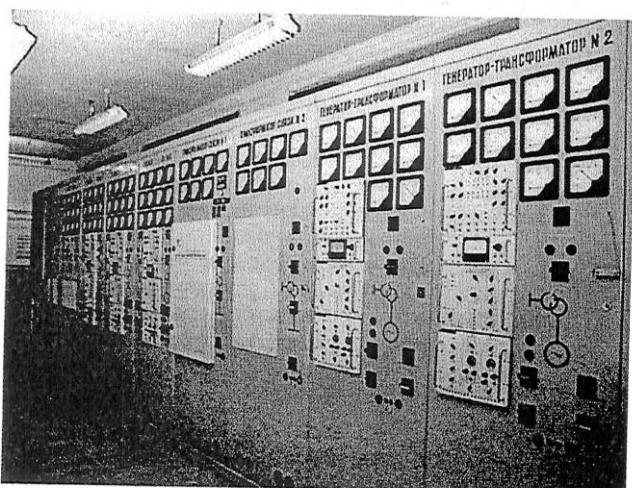


Рис. 1. Щит управления ЭДМ

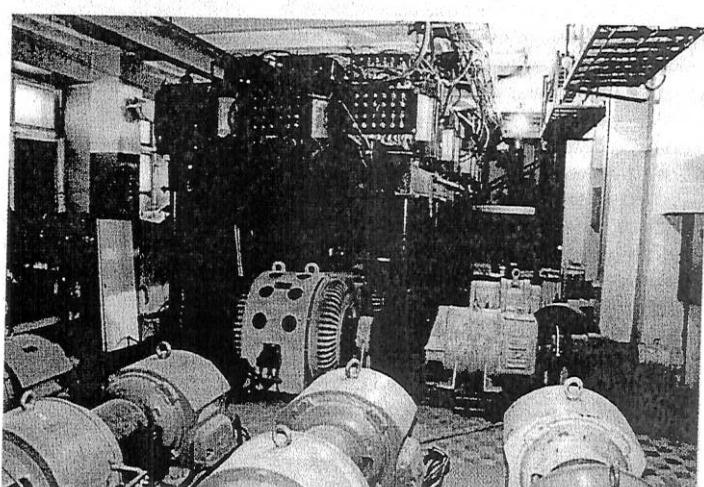


Рис. 2. Машинный зал ЭДМ

ЭДМ — проверка и доработка алгоритмов для микропроцессорных регуляторов и устройств автоматики. Кроме того, в ЭЭС появляются новые управляемые устройства (УШР, СТАТКОМ, UPFC и пр.).

В связи с этим не менее важным направлением использования ЭДМ могут стать исследования свойств новых управляемых устройств в нормальных и аварийных режимах, а также исследования взаимовлияния и взаимодействия новых управляемых устройств с уже существующими, в том числе генераторами.

В настоящее время на ЭДМ, которой располагает МЭИ, исследуются свойства и характеристики элементов гибких управляемых ЛЭП. Уже изготовлены и используются для исследований физические модели фазорегулирующего трансформатора, а также УШР, статического тиристорного компенсатора, тиристорно-управляемой продольной компенсации.

Еще одно перспективное направление использования ЭДМ — создание на ее базе постоянно действующего отраслевого центра по проведению приемочных межведомственных испытаний новой микропроцессорной аппаратуры релейной защиты, автоматики и измерений в условиях, близких к реальным. Модель может служить также для демонстрации новых устройств, их технической пропаганды и обучения эксплуатационного персонала энергосистем. С 2008 г. начали проводить обучение специалистов ОАО "ФСК ЕЭС" на ЭДМ МЭИ в целях ознакомления с возможностями новых перспективных элементов гибких управляемых линий электропередачи.

### Особенности исследований с использованием ЭДМ

Электродинамическая модель позволяет воспроизводить различные (в том числе аварийные) режимы ЭЭС и определять достоверность разрабатываемых теоретических методов расчета харак-

теристик таких режимов. Кроме того, на ЭДМ можно изучать процессы, для которых математического описания не существует. Исключительное значение ЭДМ состоит также в том, что проведение натурных экспериментов для изучения аварийных режимов непосредственно в энергосистемах либо затруднительно, либо невозможно, исходя из требований обеспечения необходимой надежности работы энергосистем.

На ЭДМ может быть воспроизведен широкий спектр различных возмущений: симметричные и несимметричные КЗ, отключение и включение одной или двух фаз линий, сброс и наброс нагрузки, подача сигналов заданной формы на вал синхронного генератора или на вход его АРВ и др. Процессы в ЭДМ происходят в реальном темпе и в условиях, наиболее приближенных к натурным.

На ЭДМ могут быть установлены и апробированы реальные устройства автоматического регулирования, защиты, измерения и др., что обеспечивается соответствием номинальных вторичных напряжений и токов измерительных трансформаторов их промышленным стандартам. Электродинамическая модель может быть использована в качестве объекта управления для отработки методов, алгоритмов и устройств противоаварийного управления в энергосистемах, в том числе современных управляемых комплексов с элементами вычислительной и управляющей техники.

На ЭДМ установлен модернизированный программно-технический комплекс "НЕВА", разработанный НПФ "Энергосоюз". Модернизация комплекса заключалась в разработке этой фирмой специальной программы "Управление экспериментом". Программа позволяет заранее задать последовательность выходных дискретных сигналов для управления элементами ЭДМ в данном опыте, а также изменять эту последовательность в зависимости от хода эксперимента. Комплекс "НЕВА" имеет следующие функции:

мониторинг текущего режима энергообъекта;

цифровое осциллографирование аварийных переходных процессов; регистрация изменений значений дискретных сигналов;

управление включением и отключением коммутационных аппаратов по заданной временной программе (КЗ, АРВ и пр.) или по логическому признаку;

представление на экране компьютера и распечатка на принтере всех регистрируемых данных (мнемосхемы, таблицы, осциллограммы).

Возможности комплекса "НЕВА" иллюстрируют рис. 3 и 4, на которых приведены мнемосхема, таблицы и осциллограмма переходного процесса, полученные в ходе экспериментов на ЭДМ. На рис. 3 показаны мнемосхема простейшей ЭЭС и текущие значения параметров ее режима, на рис. 4 — возникновение асинхронного режима на межсистемной связи.

Использование ЭДМ в учебном процессе дает специалистам следующие возможности:

изучать реальные физические процессы, протекающие в энергосистемах (синхронизация, асинхронный режим, ресинхронизация, нарушение статической и динамической устойчивости и пр.);

знакомиться и работать с новыми управляемыми элементами ЭЭС, с новыми типами автоматических регуляторов (АРВ, автоматическими регуляторами частоты вращения — АРЧВ и пр.) и устройствами управления;

знакомиться с различными системами регистрации и отображения информации о параметрах и состоянии энергобъектов.

### Примеры исследования элементов сложных ЭЭС и микропроцессорных устройств автоматики на ЭДМ

Электродинамическая модель, которой располагает МЭИ, — уникальный испытательный полигон для проверки и наладки электротехнических устройств, устанавливаемых в энергосистемах

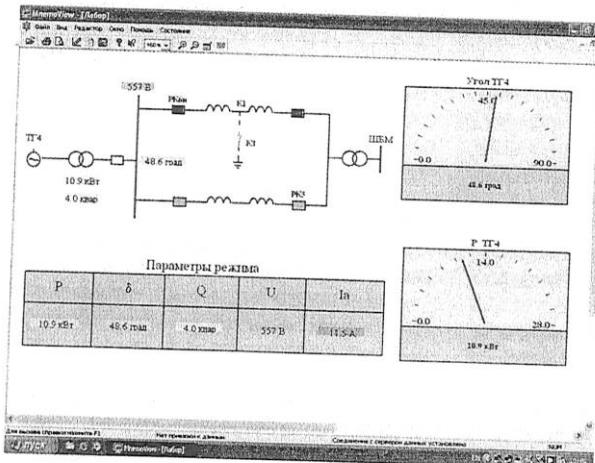


Рис. 3. Схема ЭЭС и значения параметров ее режима

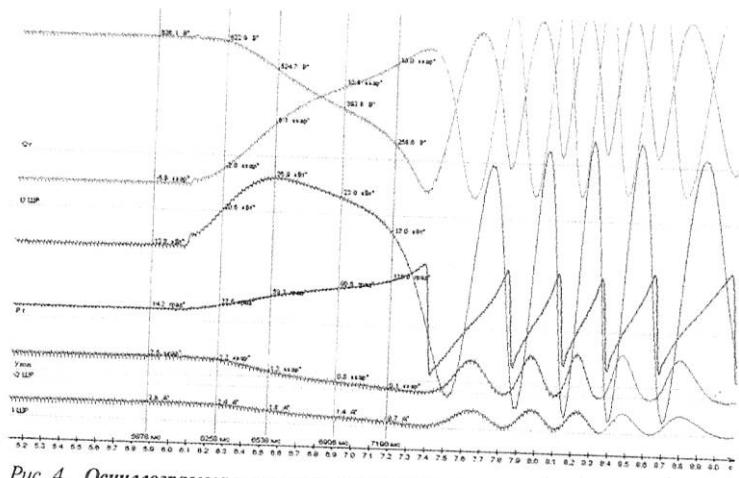


Рис. 4. Осциллограмма процессов отключения нагрузки, "наброса" мощности на линию электропередачи и возникновения асинхронного режима

страны. Например, на ЭДМ проведены испытания адаптивного микропроцессорного регулятора возбуждения для синхронных машин (разработка ВЭИ), исследование эффективности блока системной стабилизации в предельных по колебательной статической устойчивости режимах (разработка Сибтехэнерго), сравнительные испытания новых устройств для выявления асинхронного режима, испытания и доработка цифрового регулятора для газотурбинной установки производства АО "Энергоавиа", испытание сверхпроводящего устройства, охлаждаемого жидким азотом (разработка ЭНИН).

На ЭДМ проводятся также работы по заказам зарубежных фирм. Например, стажер из Голландии изучал на ЭДМ возможность появления в ЭЭС явлений так называемого "хаоса". Проводились испытания адаптивных регуляторов возбуждения, разработанных и изготовленных в Канаде. В испытаниях принимали участие представители университета из г. Калгари.

В последние годы ЭДМ активно используется для исследований работы новых элементов в ЭЭС и микропроцессорных устройств автоматики. В 2005 г. по заказу ОАО "ФСК ЕЭС" были разработаны схемно-технические решения по совершенствованию функциональных характеристик УШР и на ЭДМ проверена работоспособность статических тиристорных компенсаторов с внешней или внутренней конденсаторной батареей на базе УШР, разрабатываемых ОАО "ЭЛУР".

В 2006 г. по заданию Истринского филиала ВЭИ на ЭДМ была проверена эффективность алгоритмов микропроцессорного устройства автоматического включения резерва (АВР). Возможности микропроцессорного устройства АВР были продемонстрированы представителям заказчиков, желающих установить у себя эти устройства (Мосводоканал и др.).

В 2006 г. по заданию Московской областной электросетевой компании (МОЭСК) на ЭДМ были проведены испытания микропроцессорных устройств противоаварийной автоматики ограничения снижения напряжения (АОСН) и проверка эффективности принципов и алгоритмов этой автоматики. Результаты исследований были одобрены комиссией, в которую входили представители ОАО "СО ЕЭС", филиала ОАО "СО ЕЭС" — Московское РДУ, ОАО "МОЭСК".

В настоящее время микропроцессорные устройства АОСН введены в эксплуатацию на шести подстанциях ОАО "МОЭСК". В 2007 г. по заданию ОАО "Институт Энергосетьпроект" на ЭДМ были проведены испытания и доработка микропроцессорных устройств противоаварийной автоматики ограничения перегрузки трансформатора.

## Приглашаем к дискуссии

### Взаимосвязь между факторами производственной среды и состоянием здоровья работников: комплексный подход (на примере электроэнергетики)

КОРНЮШИНА Т. А., доктор биол. наук, КОРЖ Т. В., МИХАЛЕВА С. П., ст. научные сотрудники, ОСИПОВ В. И., специалист по охране труда, ФГУ "ВНИИ охраны и экономики труда" Росздрава

**Л**юбой производственный процесс не должен наносить ущерб здоровью работника или угрожать его жизни. Это одно из важнейших прав каждого работника, установленное Конституцией Российской Федерации. Сохранение здоровья работников — основная и приоритетная обязанность работодателя, предусмотренная законодательством. Эта проблема актуальна и в электроэнергетической отрасли, где большинство рабочих мест находится в условиях повышенной опасности для здоровья и жизни работников. Положение усложняется разнообразием технологического оборудования и технологических процессов, протекающих именно в таких условиях.

Турбогенераторы, различные врачающиеся и движущиеся механизмы, вентиляторы, двигатели создают повышенный уровень шума, вибрации, инфразвука; котлоагрегаты, паропроводы, сосуды со средой повышенной температуры — все это мощные источники инфракрасного излучения. В производственных помещениях персонал трудится в условиях воздействия запыленности, загазованности, аэроионизации с превышением ПДУ, вредных, ядовитых и агрессивных химических веществ.

Кроме этого, для электроэнергетики характерно влияние таких опасных физических факторов, как электромагнитные поля (кстати, наименее изученные), повышенное напряжение электрического тока в электроустановках, высокие давление и температура среды в трубопроводах, сосудах и агрегатах, взрыво- и пожароопасные вещества и материалы, применяемые в технологических процессах.

Названные вредные и опасные производственные факторы действуют на энергетиков как одновременно, так и в различных сочетаниях. Несомненно, что воздействие всех указанных факторов на людей требует особенно внимательного отношения к их здоровью. Тем более, что систематический мониторинг

всех этих факторов, вызывающих повышенный производственный риск повреждения здоровья, в большинстве энергетических организаций не ведется или ведется в общем, без выводов о последствиях этих воздействий на здоровье работников. Нельзя сказать, что контролю состояния здоровья энергетиков внимание не уделяется. С этой целью проводятся предварительные и периодические медицинские осмотры с выявлением отклонений в состоянии здоровья персонала и своевременное оказание медицинской помощи в восстановлении здоровья. В энергетическом производстве внедряется (правда, очень трудно и медленно) система психофизиологического обеспечения (ПФО). Совсем недавно стали проводить психиатрическое обследование работников, чьи рабочие места находятся в условиях повышенной вредности и опасности.

Следует отметить, что работа энергетиков отличается высоким уровнем и психической нагрузки. Это связано с большим количеством зрительной и звуковой информации, частой необходимостью быстро и четко принимать решения в нештатных ситуациях, при этом с сознанием высокой ответственности за принятые решения. Все это способствует развитию быстрого утомления нервной системы и прежде всего головного мозга. Работами отечественных физиологов И. М. Сеченова, Н. Е. Введенского, И. П. Павлова, А. А. Ухтомского установлено, что нервные клетки головного мозга утомляются значительно быстрее, чем, например, работающие мышцы. В результате этого возникают нарушения в протекании психических процессов, а именно восприятия, внимания, памяти и мышления. Кроме того, снижается острота зрения, сужается поле зрения, ухудшается глубинное зрение, нарушается точность и координация движений, увеличивается время реакций, снижается степень автоматизации навыков,