

Перспективы развития проекта

При первоначальном формировании объемов работ по проекту не было возможности учесть перспективы развития ФСК на ближайшие годы. Так, не была запланирована разработка тренажеров для подстанций 220кВ, комплектация тренажерами уровня предприятий магистральных сетей (ПМС), оснащение тренажерами вновь формирующихся центров управления сетями (ЦУС). В течение 2008–2009 гг. планируется продолжать работы в этом направлении.

При поддержке и развитии тренажеров особое внимание необходимо уделить следующим моментам:

- ввиду интенсивно ведущейся реконструкции подстанций, сопровождающейся заменой оборудования, панелей, изменениях в схеме, необходима постоянная актуализация макетов по результатам реконструкции. Такую актуализацию предполагается проводить в рамках работ по технической поддержке тренажера.

- организовать систему оказания методической и технической помощи пользователям тренажера в составлении и проведении тренировок, авторское сопровождение при проведении этапов по переключениям и противоаварийных тренировок соревнований оперативного персонала.

*Амелин Сергей Владимирович – генеральный директор ООО "Модус Энерго",
Иванченко Алексей Федорович – начальник диспетчерской службы ОАО "ФСК ЕЭС".*

Контактные телефоны: (495) 642-89-62, 267-79-59. [Http://www.swman.ru](http://www.swman.ru)

Тренажеры для подготовки персонала современных энергопотребляющих предприятий

**С.И. Магид, Е.Н. Архипова, В.В. Кудинов (ЗАО "ТЭСТ"),
О.А. Богачев (МГУП "Мосводоканал")**

Изложены основные принципы построения тренажеров для подготовки персонала энергопотребляющих предприятий, разработанные ЗАО "ТЭСТ". Справедливость предложенного подхода проверена при создании комплексного тренажера для подготовки оперативного персонала Северной водопроводной станции (СВС) и полномасштабного специализированного тренажера для подготовки оперативного персонала в Учебном центре (УЦ) МГУП "Мосводоканал".

При возникновении новых экономических отношений в электроэнергетике, необходимости долгосрочного обеспечения безопасности электроснабжения, решении задач сохранения надежности и "живучести" систем в критических условиях, введении новых инструментов управления технологическими и рыночными рисками требуются новые подходы к реализации механизмов управления надежностью [1]. Участники современного электроэнергетического рынка должны обеспечивать:

- надежность производства электроэнергии, электрическую и технологическую "живучесть", участие в управлении режимами (генерирующие компании);
- надежность работы схем передачи мощности и присоединения нагрузки, готовность сети к выполнению графиков генерации и потребления электроэнергии (сетевые компании);
- надежность режимов, планирование и координацию ремонтов (системный оператор);
- устойчивость своих объектов к внешним возмущениям, а также их электрическую и технологическую "живучесть" (потребители).

Если три первых участника комплекса, представляющие производительную, распределительную и диспетчерскую части электроэнергетики, в какой-то степени обеспечены техническими средствами подготовки персонала, то потребитель в настоящее время фактически лишен указанных средств [2].

В целях ликвидации диспропорции фирма ЗАО "ТЭСТ" занимается внедрением технических средств обучения – тренажеров, а также обучающих и контролирующих программ в процесс подготовки персо-

нала энергопотребляющих предприятий нефтегазового комплекса, угледобычи, транспорта, водоканала и других отраслей промышленности. Среди них тренажеры и учебно-методическое разработки для Московского государственного унитарного предприятия (МГУП) "Мосводоканал". Созданы два тренажера: комплексный для подготовки оперативного персонала Северной водопроводной станции (СВС) и полномасштабный специализированный для подготовки оперативного персонала в Учебном центре (УЦ) МГУП "Мосводоканал".

Комплексный тренажер для СВС

Северная водопроводная станция предназначена для снабжения северной части Москвы питьевой водой. В состав СВС входят шесть насосных станций (НС): три относятся к первому подъему, остальные – ко второму. На берегу Учинского водохранилища установлены НС1 и НС2, а на берегу Клязьминского водохранилища – НС3.

Электроснабжение НС первого и второго подъема осуществляется с шести сравнительно небольших распределительных пунктов (РП) напряжением 6 и 10 кВ, объединенных кабельными линиями. Согласно терминологии Мосводоканала эти РП и называются НС. Электроснабжение каждой НС осуществляется от двух и более независимых источников с автоматическим включением резерва (АВР) в случае отключения основного питания. Помимо НС в электрической схеме электроснабжения имеется 12 трансформаторных подстанций (ТП), на каждой из которых установлено по два трансформатора напряжением 6/0,4 кВ, мощ-

ностью 250...1600 кВ·А. Питание подстанций осуществляется по радиальной схеме с большим числом перемычек как от распределительных устройств НС, так и непосредственно от питающих центров (ПЦ).

На НС установлены насосные агрегаты мощностью до 2000 кВт с синхронными и асинхронными электродвигателями и регуляторы частоты большой мощности. Агрегаты оборудованы устройствами АВР. Технологическое оборудование НС оснащено достаточно сложными системами контроля и управления, для работы которых требуется надежное электропитание.

Трудности обслуживания электрического хозяйства водопроводной станции создаются в первую очередь большим числом независимых источников питания и устройств АВР. Внешние схемы соединений ПЦ персоналу СВС неизвестны, однако независимыми источниками являются либо разные подстанции глубокого ввода, либо разные секции подстанций и электростанций. Таким образом, напряжения ПЦ могут различаться. При таких условиях включение секционных выключателей или перемычек в схеме СВС может привести к возникновению больших уравнительных токов и соответственно к аварийной ситуации. С другой стороны, если ПЦ соединены во внешней схеме, аварии не произойдет, по крайней мере, до тех пор, пока не будут выполнены соответствующие переключения. Для оперативного персонала СВС это значит, что [3]:

- одни и те же ошибочные действия персонала в одном случае могут привести к аварии, а в другом — нет;
- последствия неправильных переключений могут проявиться не сразу, а спустя длительное время, при переключениях или аварии во внешней схеме электропитания;
- наличие недопустимых связей в схеме СВС может привести в случае КЗ к неожиданным для персонала последствиям (отключатся элементы, на первый взгляд, не связанные с местом повреждения);
- персонал должен быть особенно внимателен при производстве переключений на ТП 6/0,4 кВ;
- помимо АЦ, имеющих мощные связи с НС, напряжение на шины может быть подано через ТП 6/0,4 кВ по кабелям малого сечения.

Невнимательность персонала в этом случае приведет к аварии при пуске мощного агрегата. Вероятность возникновения такой ситуации мала, однако ее нельзя исключить, особенно если персонал будет действовать в условиях ликвидации аварии.

При создании комплексного тренажера для СВС учитывалось, что тренажер как обучающее устройство должен удовлетворять целевой функции человеко-машинной системы для подготовки персонала, а методология его разработки должна соответствовать системно-эргономическому подходу. На основании указанных требований производился анализ и синтез структур тренажера как ПТК, а также практическое решение задач моделирования энергообъекта.

Целевая функция человеко-машинной системы подразумевает:

- обеспечение оператора адекватной информационной моделью объекта управления;
- качественный и количественный анализ информации и принятие решений;
- формирование и совершенствование профессиональных навыков у оператора при работе на компьютерном тренажере, моделирующем поведение реального промышленного объекта.

Системно-эргономический подход означает воспроизведение в имитируемом объекте результирующих функций, а также внешних и внутренних связей, соответствующих исходному объекту с точностью, достаточной для решения поставленных задач в необходимом объеме. При этом отличие результатов моделирования от реальных характеристик объекта должно лежать в поле назначенной погрешности и обеспечивать адекватность: целей и условий, интерфейса (рабочих мест операторов энергообъектов), информационных потоков, математического моделирования, а также эргономическую и психологическую адекватность.

Только такая системная адекватность тренажера объекту моделирования позволяет сконструировать дидактически совершенный тренажер, обеспечивающий правильное формирование у операторов необходимых навыков. Неадекватность любой составляющей приводит к несоответствию получаемой на тренажере информации и ее истинного смысла на реальном энергообъекте, а также к возникновению ошибочных представлений и неверных реакций.

Практическая реализация решения задач моделирования объекта управления, анализа и синтеза подсистем тренажера определялась системными принципами единства функционально-целевых и причинно-следственных отношений модели и объекта в целях создания системы моделей и представлений, единых для разработчика тренажера и пользователя.

Причем принцип единства функционально-целевых отношений модели и реального объекта означает реализацию целевой функции человеко-машинной системы, заключающейся в возможности обучения человека-оператора. Принцип единства причинно-следственных отношений модели и объекта характеризует методологию разработки тренажера, а именно системно-эргономический подход, обеспечивающий системную адекватность тренажера объекту. Принцип единства представлений позволяет формировать у пользователя концептуальную модель объекта, адекватную запрограммированной разработчиком тренажера.

Таким образом, только реализация в тренажере трех системных принципов единства отношений (модели, объекта и представлений) позволяет сконструировать дидактически совершенный тренажер, обеспечивающий формирование у обучаемых знаний и навыков, адекватных объекту моделирования и процессам в нем. При проектировании тренажера был использован новый матрично-модульный метод ком-

понент-ориентированной разработки моделей электротехнических объектов с применением современных интерактивных Web- приложений [4].

В проекте комплексного тренажера СВС были учтены все приведенные требования к модели объекта и использованы методологические принципы запатентованного способа моделирования. Таким образом, этот тренажер как программно-техническое средство профессиональной подготовки персонала реализует адекватные модели рабочего места оператора и энергообъекта. Он оснащен учебно-методическим обеспечением процесса обучения и предназначен для формирования и совершенствования навыков управления энергообъектом в штатных и аварийных ситуациях с гарантированным уровнем его безопасности.

На тренажере решают следующие задачи:

- допуск к работе на энергообъекте лиц, квалификация которых удовлетворяет соответствующим требованиям;
- отработка основных приемов ведения стационарных и нестационарных режимов;
- подготовка и аттестация работников в области промышленной безопасности;
- анализ причин возникновения инцидентов, принятие мер по устранению выявленных причин и профилактике подобных аварий;
- техническое расследование по каждому факту возникновения аварии;
- планирование и осуществление мероприятий по локализации и ликвидации аварий на энергообъекте;
- обучение работников действиям в случае аварии или инцидента.

Комплексный тренажер включает четыре компонента: математическую модель энергообъекта, операторские станции – рабочие места пользователей на базе ПК, инструкторскую станцию – рабочее место инструктора, с которого осуществляется управление работой тренажера, учебно-методическое программное обеспечение, расширяющее дидактических возможности тренажера.

Математическая модель позволяет вести непрерывный расчет параметров энергообъекта в реальном, замедленном и ускоренном масштабе времени. Моделируются все системы СВС как гидравлические, так и электрические. Общее число структурных элементов моделируемого оборудования – 1800 ед., число расчетных параметров – 6400 ед., шаг квантования по времени – 0,1 с.

В моделировании используются современные эксклюзивные (авторские) быстродействующие программы расчета гидравлических и электротехнических процессов в структурных элементах оборудования и линиях связи. В объем моделирования входят все режимы нормальной эксплуатации оборудования, а также аварийные ситуации – короткое замыкание (КЗ) и отсутствие напряжения.

Операторские станции. В тренажере моделируются все операции, выполняемые со щитов и мнемо-

схем НС, а также средства контроля и управления (ключи, кнопки, информационные табло, приборы, сигнализация состояния объекта, арматура, выключатели, разъединители и пр.). Модель энергообъекта в каждом цикле обмена информацией передает операторской станции текущее значение параметров и сигналов, а получает от нее сигналы управления. Эта динамическая информация фиксируется на экране операторской станции как показания приборов и сигнальных ламп щита НС.

Управление и контроль моделируются посредством информационно-управляющих динамических экранных изображений двух типов: натуральных изображений структурных элементов (ячеек, выключателей, разъединителей и пр.) или щитов управления НС, либо изображения технологической схемы. Во всех случаях управление осуществляется мышью через мишень на экране. Все аварийные предупредительные табло сигнализации в реальной текстовой форме (блнкеры) высвечиваются в специальном окне сигнализации. Операторские станции, помимо своих основных функций, могут также контролировать параметры, которые можно задавать с мнемосхемы на экране дисплея в графическом виде.

Инструкторская станция управляет работой модели, осуществляя запуск из любого заданного начального состояния, останов моделирования, получение "моментальных снимков" (snap-shots), то есть копирование и запоминание (с возможностью дальнейшей инициализации) динамических состояний тренажерной модели. Начальные состояния могут быть двух видов: стандартные, заранее полученные и неизменяемые, а также зафиксированные (остановленные) инструктором, то есть текущее состояние объекта регулирования.

Производится контроль, мониторинг и автоматическая запись в цифровой и графической форме всех параметров в ходе моделирования, а также действий оператора с возможностью последующего ретроспективного просмотра. Процесс моделирования может быть замедлен в 10 раз или ускорен до 100 раз.

Одна из основных функций инструкторской станции – формирование рабочего задания на тренировку и создание аварийных ситуаций. Станция имеет развитые средства формирования сценариев учебно-тренировочных занятий и автоматизированный контроль обучения.

Мнемосхемы комплексного тренажера, активирующиеся с помощью всережимной математической модели, представляют собой шесть схем НС, одну общую схему связи всех шести НС и ПЦ, а также мнемосхемы щитов управления НС4, НС6. Кроме того, в тренажере представлены активные центральные щиты управления двумя НС, на которых расположены органы управления насосными агрегатами, коммутационные аппараты, измерительные приборы. Всеми элементами тренажера можно управлять. В соответствии с действиями оператора адекватная математическая модель

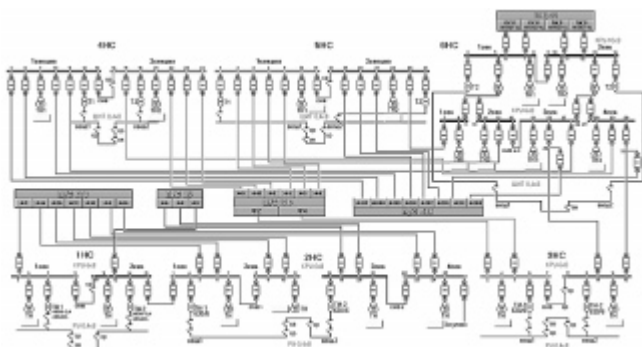


Рис. 1. Общая схема электроснабжения СВС

тренажера отображает на экране изменения электрических и технологических параметров, а также положение коммутационных аппаратов (рис. 1).

Учебно-методическое обеспечение включает автоматизированные сценарии тренировок, сценарии парирования аварийных ситуаций, компьютерные мастер-классы, предназначенные не только для овладения обучающимися известными, конкретными способами ликвидации аварийных ситуаций, но и общим подходом к решению задач данного класса.

Тренажер призван решать широкий спектр задач подготовки персонала разной квалификации. Подробная детализация (полномасштабность) позволяет готовить электромонтеров по оперативным переключениям, наличие гидравлической части, функционально связанной с электрической, — операторов и сменных инженеров, а общая электрическая схема всей водопроводной станции необходима для диспетчеров и административно-технического персонала.

Основное внимание в подготовке персонала обращается на выполнение оперативных переключений электроустановок. Для этих целей в тренажере заложены четыре автоматизированных сценария типовых оперативных переключений:

- вывод в ремонт первой секции КРУ-6кВ (рис. 2);
- вывод в ремонт электродвигателя агрегата №2 НС2;
- вывод в ремонт трансформатора собственных нужд 6/0,4 кВ НС1;
- пуск электродвигателя агрегата №6 НС6.

Поскольку в тренажере отображается достаточно большое число элементов и связей между элементами, то предусмотреть все возможные варианты исходного состояния схемы и все алгоритмы действий оператора практически невозможно. В такой ситуации важная роль отводится инструктору, который выбирает наиболее полезные для тренировки характеристики объекта.

Для оперативного электротехнического персонала СВС необходимо знание основ работы технологического оборудования. Мнемосхемы щитов управления полностью повторяют внешний вид и функциональное назначение своих оригиналов. С помощью наглядного и удобного интерфейса можно загружать и запоминать различные режимы работы как объекта в целом, так и

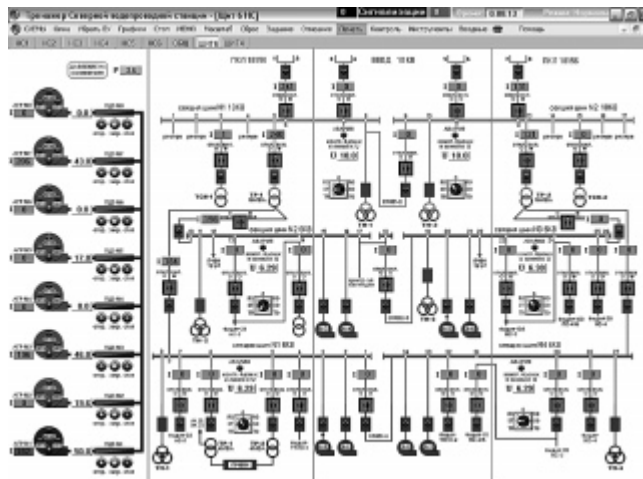


Рис. 2. Схема комплексного тренажера СВС (щит 6 НС)

отдельных его частей. Различные варианты заданий и алгоритмы их выполнения позволяют одновременно тренироваться и осуществлять самоконтроль.

Тренажер позволяет отрабатывать ведение диспетчерского графика и ликвидацию аварийных ситуаций. Разработано четыре сценария противоаварийных тренировок:

- междуфазное КЗ в кабеле насосного агрегата №2 НС №1;
- КЗ на землю в кабеле насосного агрегата №5 НС №5;
- исчезновение напряжения на второй секции 6 кВ НС №1;
- КЗ в обмотке трансформатора собственных нужд — ТМ №2 НС №1.

Автоматическое ведение протокола фиксирует каждое действие тренирующегося с последующей возможностью анализа и выявления ошибок. Звуковая и красочная световая сигнализация, дублирующая штатную, позволяет лучше и быстрее реагировать на те или иные создавшиеся ситуации.

Тренажер предназначен как для обучения новых работников, так и для действующих специалистов с целью повышения их профессиональных навыков.

Полномасштабный специализированный тренажер УЦ "Мосводоканал"

Специализированный тренажер УЦ "Мосводоканал" состоит из двух базовых составляющих: полномасштабный полигон и компьютерная часть. Полигон представляет пять реально действующих ячеек типа КСО-298, рассчитанных на напряжение 10,5 кВ (рис. 3) и оборудованных самым современным на сегодняшний день коммутационным оборудованием и устройствами защит.

Во время занятий на реальном оборудовании полномасштабного тренажера (полигоне) изучают конструкцию оборудования, а также действие защит и блокировок. Кроме того, на полигоне отрабатывают навыки применения защитных средств и, самое главное, моторные навыки выполнения оперативных переключений.

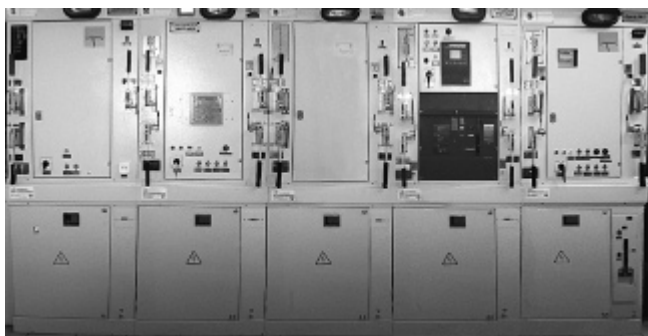


Рис. 3. Общий вид полигона полномасштабного специализированного тренажера УЦ "Мосводоканал"

Работа дежурных электромонтеров имеет ряд особенностей. Оперативные переключения в электроустановках производятся при выводе в ремонт электрооборудования или при ликвидации аварийных ситуаций. Регулярность выполнения переключений в разных организациях отличается, но, как правило, основную часть рабочего времени оперативный персонал занимается осмотром оборудования, контролем его работы, текущим ремонтом. Кроме того, производственная нагрузка персонала дежурных смен распределяется неравномерно. Таким образом, необходимо учитывать, что без постоянной самоподготовки знания и навыки оперативного персонала неизбежно теряются.

В УЦ "Мосводоканал" занятия на полигоне дополняются отработкой поведения обучаемых при различных штатных и нештатных ситуациях на компьютерной части полномасштабного тренажера. Цель обучения состоит не только в получении навыков работы на данном типе оборудования, но в закреплении знаний и навыков, общих для всех электроустановок. При подготовке оперативного персонала анализу ошибок всегда уделяется много внимания, однако объяснить их наглядно и доказательно можно только на компьютерной части полномасштабного тренажера. В данном случае тренажер позволяет проанализировать практически любые ошибки персонала: включение заземляющих ножей под напряжением, отключение цепей защиты и управления, вывод защит и блокировок, коммутация токов нагрузки при помощи разъединителей и пр.

Базовая компьютерная часть тренажера – активные динамические мнемосхемы в плане дидактики создаются таким образом, чтобы максимально соот-



Рис. 5. Интерактивные объектные окна ячеек КРУ на дисплее тренажера

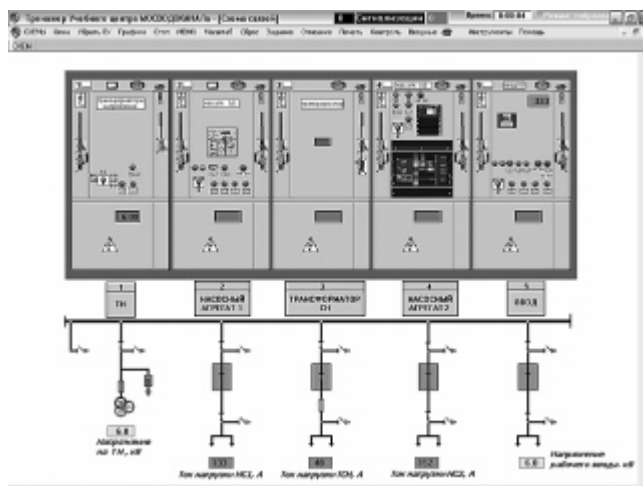


Рис. 4. Компьютерная реализация полномасштабного специализированного тренажера УЦ "Мосводоканал"

ветствовать реальным оперативным и электрическим схемам энергооборудования. Число мнемосхем определяется, прежде всего, разделением энергообъекта на отдельные технологические участки и является оптимальным для каждого энергообъекта. В сочетании с целесообразной системой навигации по мнемосхеме это создает для оператора удобную рабочую среду.

На рис. 4 представлено одно из интерактивных объектных отображений тренажера. Всережимная математическая модель реализует одну секцию КРУ, состоящую из пяти ячеек КСО-298 с необычными элементами одностороннего обслуживания и одностороннего питания. Присоединения ячеек отражают наиболее типичное и распространенное оборудование КРУ 6...10 кВ (рис. 5).

Если у тренирующегося возникают трудности с порядком переключений, он имеет возможность воспользоваться программой поддержки оператора, в которой представлена последовательность операций.

Таким образом, сценарии тренировок, программа поддержки оператора, набор аварийных ситуаций, контролирующие программы, протоколы и графические зависимости позволяют значительно расширить дидактические возможности тренажера, более детально рассматривать действия обучаемого, качественно анализировать его ошибки и их причины.

Выводы

1. В целях обеспечения системной надежности современного электроэнергетического комплекса в части развития человеческого потенциала энергопотребляющих предприятий для МГУП "Мосводоканал" разработаны и внедрены в процесс обучения оперативного персонала комплексный компьютерный тренажер СВС и полномасштабный специализированный тренажер УЦ "Мосводоканал".

2. Практическая реализация решения задач моделирования объектов управления, анализа и синтеза подсистем тренажеров определялась системными



Поздравляем с юбилеем!

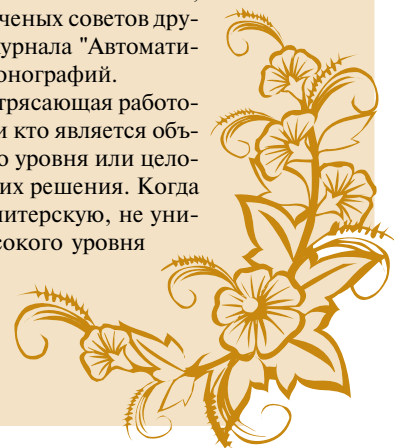
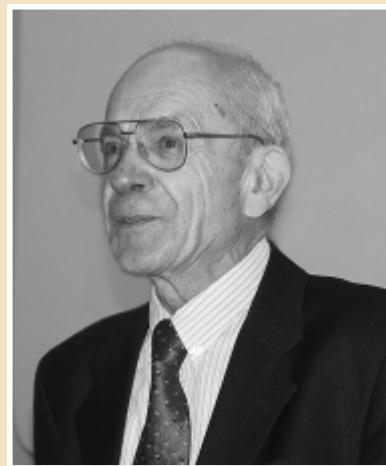
25 июня 2008 г. исполнилось 80 лет **Эммануилу Львовичу Ицковичу** – доктору технических наук, профессору, заведующему (с 1969 г.) лабораторией № 35 Автоматизации производства Института Проблем Управления им. В.А. Трапезникова РАН.

Эммануил Львович – коренной питерец и по рождению, и по семейной памяти, его отец погиб в 1942 г. в блокадном Ленинграде. Э. Л. Ицковича и его мать спасла эвакуация. В 1951 г. он окончил Ленинградский Политехнический институт, кстати, как физик-ядерщик, но в те смутные годы его в эту область не взяли. В 1952 г. судьба свела его с одним из ведущих специалистов страны в области приборостроения и систем автоматического контроля Д.И. Агейкиным. И с 1956 г. Э.Л. Ицкович продолжил свой трудовой путь уже в ИПУ (в те годы ИАТ) сначала в качестве аспиранта Д.И. Агейкина, а потом уже штатного сотрудника его лаборатории.

В стенах ИПУ (ИАТ) Э. Л. Ицкович защищался, публиковался, выступал и организовывал всесоюзные и всероссийские семинары и конференции, преподавал, обучал аспирантов и сотрудников – будущих руководителей лабораторий ИПУ и других организаций. Лаборатория №35 ИПУ, которой Эммануил Львович руководит около 50 лет, кроме талантливых методических разработок, выполняет объемные прикладные проекты по договорам с крупными предприятиями ряда отраслей, с Вьетнамской сталелитейной компанией, с РАО ЕЭС, Газпромом. Э.Л. Ицкович является членом Ученого совета ИПУ РАН и Ученых советов других организаций, членом редколлегий научно-технических журналов, в том числе журнала "Автоматизация в промышленности". Он автор свыше 200 печатных работ, в том числе 18-ти монографий.

Успешной научной и практической деятельности Э.Л. Ицковича помогают его потрясающая работоспособность, холодная голова и уникальный дар видеть суть вещей. Неважно, что или кто является объектом видения: диссертация, система управления, поведение одного человека любого уровня или целого коллектива. Он сразу же видит болевые точки, проблемы объекта и возможности их решения. Когда его приглашают их изложить, он облекает свои аргументы в интеллигентную старопитерскую, не унижающую собеседника оболочку, оставаясь для всех доступным как специалист высокого уровня компетентности, авторитетный и дружелюбный советчик.

Редакция и редколлегия журнала "Автоматизация в промышленности" сердечно поздравляют Эммануила Львовича Ицковича с 80-летним юбилеем и желают ему крепкого здоровья, оптимизма, верных соратников и новых интересных проектов, всегда оставаться таким же энергичным и жизнерадостным.



принципами единства функционально-целевых и причинно-следственных отношений модели и объекта в целях создания системы моделей и представлений, обеспечивающих формирование у обучающихся правильных навыков и умений.

3. Разработан и внедрен новый матрично-модульный метод компонент-ориентированного моделирования электротехнических объектов с применением современных интерактивных Web-приложений, описание которого выходит за рамки данной статьи.

4. Разработано дидактическое учебно-методическое обеспечение, позволяющее качественно улучшить процесс обучения оперативного и обслуживающего электротехнического персонала МГУП "Мосводоканал".

Список литературы

1. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике. РАО "ЕЭС России". Москва. 2005.

2. Магид С.И. Человеческий фактор и энергобезопасность на современном этапе реформирования электроэнергетики // Оперативное управление в электроэнергетике. Подготовка персонала и поддержание его квалификации. 2006. №2.
3. Магид С.И., Загреддинов И.Ш., Львов М.Ю., Мищеряков С.В., Музыка Л.П., Архипова Е.Н. Нормативно технические требования и современная реализация тренажеров для обеспечения надежности оперативного персонала электроэнергетических объектов // Сб. статей "Энергобезопасность и человеческий фактор" под ред. Магида С.И. Краснодар – Москва. 2006.
4. Свидетельство №2004611820 Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам: "ПО автоматизированной анкетированной системы всережимного комплексного тренажера адресных энергообъектов электрических сетей на базе универсального матрично-модульного принципа". Правообладатель: ЗАО "Тренажеры электрических станций и сетей" ("ТЭСТ") (RU), приоритет от 30.07.2004 г.

Магид Сергей Игнатьевич – д-р техн. наук, директор департамента TEST UNESCO, директор ЗАО "ТЭСТ",

Архипова Елена Николаевна – канд. техн. наук, технический директор,

Кудинов Владимир Витальевич – начальник электротехнического отдела ЗАО "ТЭСТ",

Богачев Олег Алексеевич – директор Центра подготовки персонала МГУП "Мосводоканал".

Контактный телефон (495) 424-76-00. [Http://www.testenergo.ru](http://www.testenergo.ru)