

# Механіка, машинознавство та електропостачання

УДК 681.03

П.Ф. Буданов, Р.Н. Мезенцев, А.В. Панин, А.Н. Рыхлин

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

## АНАЛИЗ И ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДИКИ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

*Проведен анализ существующих технических и программных средств обучения оперативно-диспетчерского персонала электрических станций, рассмотрены требования к и их характеристикам, на основе системного подхода к вопросам технической реализации автоматизации реальных энергообъектов и учёта временного критерия был предложен вариант построения информационно-алгоритмической структуры модели – тренажёра, который позволяет проследить и имитировать прохождение информационных потоков от нижних к верхним уровням, таким образом, увеличивается количество штатных и нештатных ситуаций, при которых необходимо принимать оперативное решение в режиме реального времени.*

**Ключевые слова:** модель тренажёра, алгоритм модели, оператор – диспетчер, информационно-алгоритмическая структура, критерий времени для принятия решения.

### Введение

**Постановка задачи и анализ литературы.** Одной из составляющих обеспечения безопасности эксплуатации объектов электростанций (ЭС) является высокий уровень подготовки оперативно – диспетчерского персонала электростанций (ОДП ЭС). Анализ аварий и катастроф на объектах ЭС показывает, что в 50 % случаях основной причиной несвоевременного предотвращения и ликвидации аварий и катастроф стало отсутствие практических навыков и умений действовать в нештатных ситуациях в режиме реального времени [1].

Современные методики подготовки включают отработку действий ОДП ЭС в штатных режимах на полномасштабных тренажёрах, которые практически полностью соответствуют как по внешнему интерьеру (пульт управления, табло, мнемосхемы, органы управления) так и по информационному программному обеспечению реальному автоматизированному рабочему месту оператора (АРМО). Кроме того, высокий уровень адекватности математических моделей реальным объектам-прототипам ЭС, являются основой для обучения и повышения квалификации оперативного персонала для работы в нормальных режимах и штатных ситуациях – несомненные преимущества современных тренажёрных комплексов [1 – 3]. Их использование даёт оперативному персоналу возможность качественно пройти весь курс обучения управлением технологическим процессом от изучения теоретических основ и нормативных документов до выработки навыков управления работой оборудования, (в штатных режимах и аварийных ситуациях) и доведения этих навыков до автоматизации [1 – 3].

Однако следует признать, что несмотря на высококачественные современные обучающие тренажёрные системы, они в достаточно полной мере не позволяют: *во-первых* проводить одновременную комплексную тренировку (ОДП ЭС) операторов различных уровней управления по отработке действий в аварийных нештатных ситуациях в режиме реального времени; *во-вторых* обеспечивать быстрый гибкий переход модели – тренажёра с одного сценария тренировки по нештатной ситуации на другие режимы управления; *в-третьих* обеспечить ОДП ЭС необходимой информацией достаточной для адекватного принятия решения на управление объектом ЭС при предотвращении и ликвидации аварий и катастроф на ЭС в режиме реального времени.

Таким образом, **целью статьи** является усовершенствование методики подготовки оперативно-диспетчерского персонала электрических станций на основе разработки информационно - алгоритмической структуры модели-тренажёра.

### Основной материал

**1. Виды технических и программных средств обучения оперативно-диспетчерского персонала электрических станций.** Анализ научно-технической и специальной литературы показал, что на сегодня для подготовки оперативно – диспетчерского состава применяются следующие обучающие тренажёрные технические и программные средства (ОТГ ПС):

1. Всережимные комплексные тренажеры с различными видами представления информации и систем управления, а именно:

– тренажеры со щитовыми мнемосхемами, показывающими и регистрирующими приборами и пультом управления (полномасштабные);

– тренажеры с дисплейными мнемосхемами и компьютерным управлением (в том числе сетевой вариант);

– комбинированные тренажеры - полномасштабные с дублирующим компьютерным управлением;

– тренажеры с компьютерным моделированием реальной современной АСУТП.

2. Автоматизированные компьютерные обучающие и тренирующие системы (АОС).

3. Автоматизированные компьютерные учебные курсы (АУК).

4. Автоматизированные сценарии тренировок с контролем и оценкой знаний (АСТ).

5. Автоматизированные сценарии парирования аварийных ситуаций (ПАС).

**2. Анализ общих требований к современным тренажёрным средствам обучения.** Современные тренажёрные технические и программные средства должны отвечать следующим требованиям:

– *полномасштабность*: полное подобие рабочего места оператора (информационного и моторного полей) как в случае пультово-щитового, так и в случае компьютерного управления оборудованием;

– *комплексность*: предусматривается возможность подготовки группы специалистов в полном объеме их профессиональной деятельности, или одного специалиста, деятельность которого осуществляется по нескольким специальностям;

– *всерезимность*: воспроизводятся все без исключения режимы работы энергооборудования (пусковые, остановочные, регулировочные и аварийные);

– *адекватность*: применяется методика количественной оценки точности идентификации моделируемых энергообъектов по энтропийному показателю вариации переменных;

– *оптимизация*: контролируются технико-экономические показатели энергообъекта с возможностью работы с максимальным КПД;

– *научная обоснованность*: разработанные все-режимные модели технологического оборудования реального времени на базе разделения функций статического и динамического моделирования с направленной асимметрией точности разделенных функций, учитывающие как свойства энергообъекта, так и свойства человека-оператора;

– *обновляемость*: в связи с постоянной международной ротацией программно-технических средств происходит периодическая замена программно-аппаратной платформы разрабатываемых тренажерных устройств;

– *внутренняя и внешняя память, графопостроение*: производится запоминание всех действий оператора, режимов энергообъекта, положения регулирующей и запорной арматуры, механизмов и параметров, их графическое отображение, возврат ситуаций;

– *масштаб времени*: имеется возможность ускорения, и замедления масштаба времени (до 100 раз), т.е. ускорение медленных процессов (пуски,

остановы) и замедление быстропротекающих процессов (аварийные ситуации);

– *объем дисплейной информации*: на один монитор выводится до 20 мнемосхем, расположенных в виде "окон" с увеличением или уменьшением масштаба;

– *возможности сети*: в случае сетевого варианта имеется возможность подключать основной монитор к сети (до 10-ти компьютерных станций или рабочих мест) и, таким образом, формировать компьютерный класс или электростанцию полностью со всеми рабочими местами, что позволяет, в свою очередь, проводить противоаварийные тренировки или учения по предотвращению аварий, или инцидентов, имеющих (или имевших) место на электростанциях, или на других объектах энергосистем;

– *пульт инструктора*: обладает возможностями (вручную и автоматически) формирования рабочего задания на тренировку, задания внутренних возмущений (аварий и отказов в работе технологического оборудования, арматуры, систем автоматики и др.) и внешних возмущений (изменения количественных и качественных характеристик топлива, температуры окружающего воздуха), изменения масштаба времени, остановка процесса, возврата к исходному состоянию, фиксацию времени, количества и типа ошибок, срабатывания защит и блокировок, фиксацию отклонений и графиков основных параметров;

– *автоматический контроль работы оператора*: программа, позволяющая оценивать выполненные задания человеком-оператором; оценка ведется по отклонениям от допустимых значений текущих параметров при правильном выполнении определенных операций за отведенный интервал времени;

– *система поддержки оператора*: в процессе выполнения задания оператор может обратиться к указанной системе за подсказкой;

– *количество задач для тренировки и аварийных ситуаций*: тренажеры снабжаются стандартным набором задач и аварийных ситуаций;

– *автоматизированные обучающие системы (АОС)*: программы для персональных ЭВМ, позволяющие реализовать принцип понятийного освоения основного и вспомогательного оборудования энергообъектов, отрабатывать основные приемы ведения стационарных и нестационарных режимов штатных и нештатных ситуациях, детализировать знания оперативных схем и функциональных возможностей оборудования; использование автоматизированных обучающих систем возможно в режимах: программируемого обучения и контроля знаний.

**3. Основные подходы и принципы построения информационно – алгоритмической структуры модели тренажёра.** Исходя из общих требований к ОТТ ПС, в работе были предложены подходы к построению информационно-алгоритмической структуры модели тренажёра. Для построения информационно-алгоритмической структуры модели – тренажёра, авторами предложено за основу взять

применение системного подхода к вопросам технической реализации автоматизации реальных энергообъектов (например, энергоблока).

Построение информационно-алгоритмической структуры модели – тренажёра, в которой в одном и том же вычислительном комплексе предусмотрено осуществление ряда функций, невозможно без совместного рассмотрения алгоритмов этих функций с учётом всех информационных и управляющих связей между ними.

Одной из основных задач при построении информационно-алгоритмической структуры объектов должно быть определение оптимальных соотношений между:

- информационными и управляющими функциями;
- традиционными средствами контроля и управления и средствами вычислительной техники;
- схемными и программными способами реализации алгоритмов на средствах вычислительной техники, а также другими компонентами системы.

Наибольшее распространение в настоящее время получили различного рода иерархические структуры управления, что объясняется их сравнительно высокой живучестью и информационной производительностью при ограниченных возможностях по переработке информации используемых технических средств, а также свойственные им возможности для развития.



Рис. 1. Структура алгоритма модели-тренажёра

В работе предлагается рассмотреть функциональную иерархию, отражающую структуру алгоритма модели – тренажёра (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что на различных уровнях функциональной иерархической структуры возможно решение следующих задач управления.

**Уровень I.** Стабилизация процесса по заданным режимным значениям технологических параметров и обеспечении безопасности работы оборудования;

**Уровень II.** Режимная коррекция системы управления (изменение настроек регуляторов, пере-

ключения при нештатных режимах и т.д.);

**Уровень III.** Адаптация алгоритмов при изменении свойств объекта (оптимизация параметров алгоритмов коррекции);

**Уровень IV.** Определение показателей экономичности и качества ведения процесса; их анализ; принятие решений; составление отчетности.

Таким образом, выше предложенная иерархическая функциональная структура модели – тренажёра позволяет имитировать все отмеченные выше уровни в любой системе управления современного энергообъекта ЭС (например, энергоблока АЭС).

**4. Вариант построения иерархической структуры информационно-алгоритмической модели – тренажёра.** На основе исследований алгоритмов функций модели-тренажёра, а также традиционных задач управления объектами ЭС был предложен вариант построения иерархической структуры информационно-алгоритмической модели – тренажёра (рис. 2).

Элементом информационно-алгоритмической структуры модели – тренажёра является алгоритм, который имеет информационные вход и выход, а также может иметь вход, корректирующий параметры алгоритма, как показано на рис. 3.

Иерархические уровни отличаются характером и интенсивностью потоков входной информации, поставляемой нижними уровнями, скоростью обработки информации, а также частотой коррекции алгоритмов, производимой в результате работы алгоритмов более высокого уровня.

Рассмотрим функционирование алгоритмов модели – тренажёра на всех уровнях (рис. 2.).

На *первом уровне* сосредоточены алгоритмы обмена информацией с управляемым объектом – прототипом, т.е. сбора информации и формирования управляющих воздействий. А именно на этом уровне функционируют алгоритмы сбора и первичной переработки информации (контроль достоверности, линеаризация, масштабирование), поставляющие информацию во все более высокие уровни структуры; алгоритмы обнаружения различных событий: отклонений технологических параметров от заданных значений, переключений двухпозиционных органов, срабатывания технологических защит и др.

При этом выходная информация этих алгоритмов направляется к объекту прототипу (управляющие воздействия), в более высокие уровни структуры и частично поступает к оперативному персоналу.

На *втором уровне* сосредоточены алгоритмы обнаружения различных технологических ситуаций, связанных с устойчивыми изменениями режима (изменение вида топлива, отключение корпуса парогенератора, глубокое изменение нагрузки и др.), и соответствующей коррекции алгоритмов I уровня (переключения контуров регулирования, изменение установок и динамических настроек регуляторов в соответствии с определёнными зависимостями).

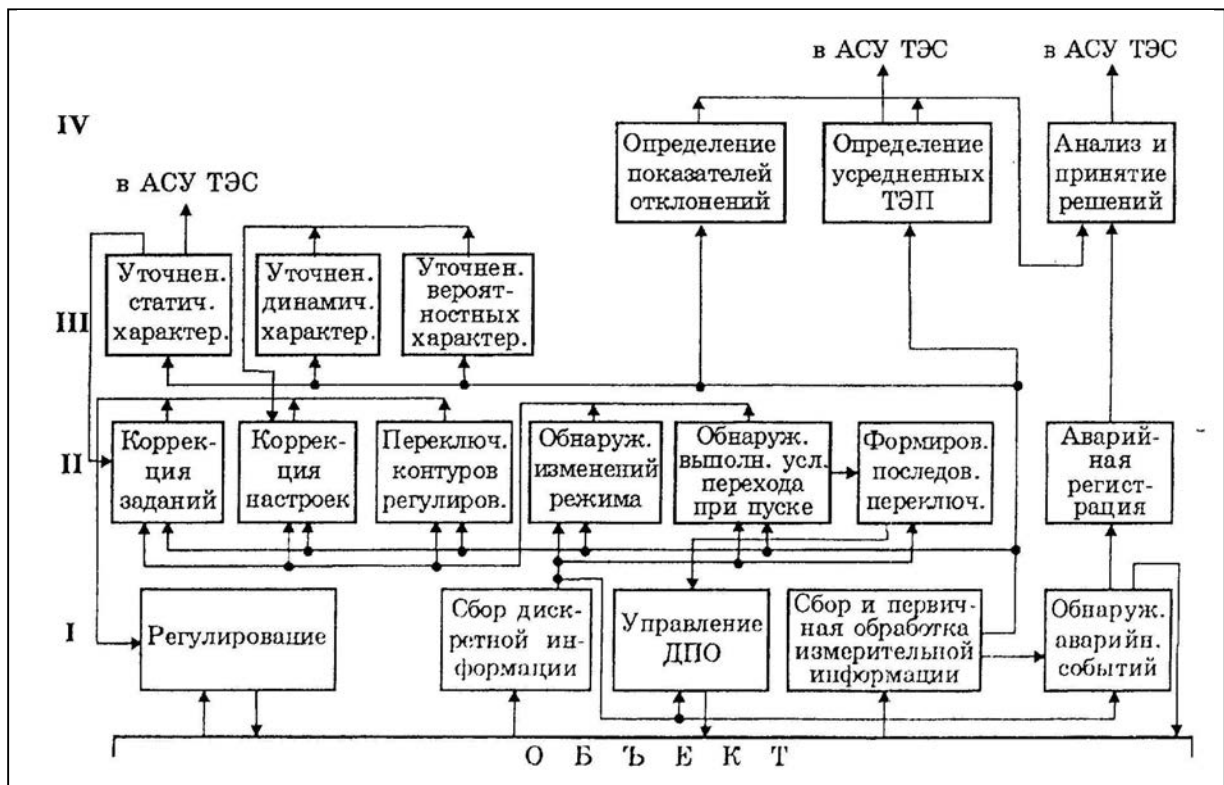


Рис. 2. Схема информационно-алгоритмической модели – тренажёра

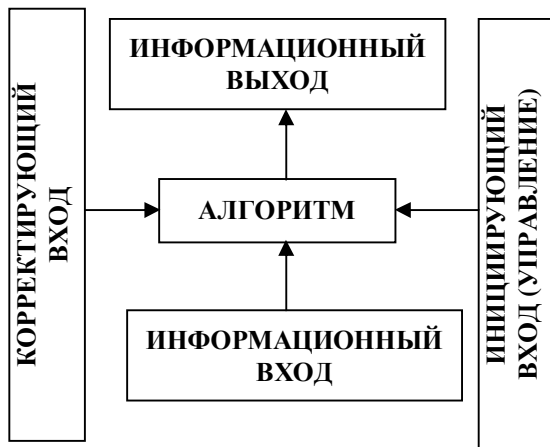


Рис. 3. Элемент информационно-алгоритмической структуры модели – тренажёра

На данном уровне осуществляется дальнейшее накопление информации (усреднение) для расчёта технико-экономических показателей (ТЭП) для чего необходимо применять более сложные алгоритмы обработки информации. Необходимо отметить, что часть информации на данном уровне в процессе управления подготавливается тренируемым оператором на автоматизированном рабочем месте тренажёра.

На *третьем уровне* сосредоточены сложные алгоритмы уточнения статических и динамических характеристик объекта - прототипа ЭС, также вероятностных характеристик возмущений. На их основе производится оптимизация параметров системы регулирования, которая осуществляется путём корректировки функциональных зависимостей, используемых на *втором уровне*.

Кроме того, здесь могут определяться характеристики объекта, необходимые на реальных объектах для оптимального распределения нагрузок между блоками. Алгоритмы данного уровня могут включаться при обнаружении устойчивых изменений режима объекта - прототипа на *втором уровне*. Это может оказаться необходимым при рациональном разделении работы между алгоритмами уточнения характеристик (III уровень) и коррекции параметров (II уровень).

На *четвёртом уровне* алгоритмами определяются показатели работы оборудования объекта – прототипа (усреднённые ТЭП и другие характеристики процессов) по информации, накопленной на нижних уровнях. Здесь же производится их анализ, и в результате принимаются решения о проведении тех или иных мероприятий (включение алгоритмов III уровня для уточнения характеристик объекта и оптимизации системы регулирования и т.д.).

Таким образом, предложенный вариант информационно-алгоритмической структуры модели – тренажёра позволяет проследить и имитировать прохождение информационных потоков от нижних к верхним уровням, при этом возрастает сложность и увеличивается доля не полностью формализованных алгоритмов, а значит, увеличивается количество штатных и нештатных ситуаций, при которых необходимо принимать оперативное решение в режиме реального времени.

**5. Разработка и учёт временного критерия при принятии решения оператором – диспетчером в штатных и нештатных ситуациях.** Существенным элементом взаимодействия оператора и ма-

шинной части системы по принятию решения является тот факт, что и контролируемые процессы и сама деятельность оператора, рассматриваемая как процесс, как правило, носят явно выраженный динамический характер и потому могут быть описаны надлежащим образом лишь в функциях, явно зависящих от времени. Любые попытки использования количественных оценок на основе конечной совокупности постоянных во времени критериев, параметров или других величин, определяемых по среднестатистическим данным, или статическим расчетам и распространяемых на конечные отрезки времени функционирования не могут привести к адекватным математическим моделям, обеспечивающим прогнозирование работы как энергообъекта, так и обучаемых операторов;

Оператор способен оценивать ситуацию и формировать решение на управление не только в зависимости от наличия тех или иных сигналов, но и в связи с моментами времени их реализации, в связи с чем можно утверждать, что любой сигнал информационного интерфейса полезно служит задачам контроля и управления только будучи соотносены с моментом времени его реализации.

Необходимость учета в интегральных моделях эргатических систем латентного (запаздывающего) периода реакции человека-оператора на предъявленный ему сигнал оказывает существенное влияние как на конструкцию интерфейса модели - тренажера, так и на организацию учебного процесса для приобретения оператором реальных когнитивных и моторных навыков, с учетом того, что кроме временного сдвига реакции по отношению к сигналу, это явление предопределяет временную дискретизацию процесса обработки сигналов и сопровождается неизбежными потерями той части сигналов, темп поступления которых (частота) превосходит быстроедействие оператора.

В работе проведен анализ действий оператора – диспетчера на различных этапах протекания динамических процессов в штатных и нештатных режимах при ликвидации аварии. Показано, что ликвидация аварии должна производиться в кратчайшие временные интервалы, а, следовательно, надо определить, как уменьшить это время.

В тренажере учитывается четыре вида времени:

- время протекания реальных процессов, характеризующее инерцию объекта моделирования (время запаздывания, время выбега, время дотягивания);

- время счета модели, то есть время решения программой системы уравнений, описывающих реакцию модели на входное воздействие – для динамических моделей и изменение функции при изменении аргумента – для статических моделей;

- тренажерное текущее время, начинающееся после включения тренажера;

- реальное астрономическое время.

Для динамических моделей учитываются три первые вида времени, для статических моделей только два – время счета модели и тренажерное время.

Были выявлены следующие закономерности развития динамики событий во времени и соответственно действий оператора на принятие решений. Вначале была рассмотрена временная функция отклонения параметров ЭЭС (рис. 4).

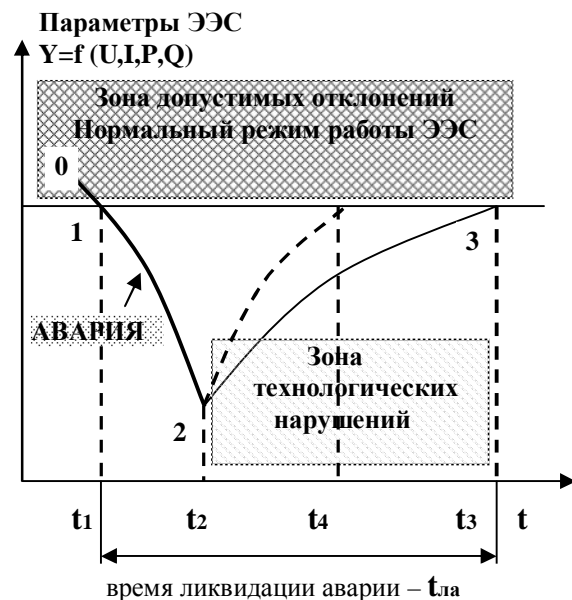


Рис. 4. Временная функция параметров ЭЭС

На рис. 4 видно, что участок кривой 0-1 соответствует работе ЭЭС в нормальном режиме, участок 1-2 показывает момент возникновения аварийной ситуации в ЭЭС, участок 2-3 соответствует поэтапному проведению оператором – диспетчером мероприятий по ликвидации аварии.

Из рис. 4. также видно, что время ликвидации аварии зависит от количества шагов предпринятых оператором – диспетчером для ликвидации аварий и эффективности этих шагов.

Количество шагов, время и крутизна функции восстановления параметров сети на каждом шаге зависит от: глубины и масштаба аварийных возмущений; времени прохождения информации о событии и реализованных действиях; уровня подготовки и квалификации диспетчера, который принимает решения; квалификации и умения оперативного персонала всей вертикали, задействованного в ликвидации аварии.

На основании анализа выше изложенного, авторами, было предложено рассмотреть зависимость времени ликвидации аварии в зависимости от времени прохождения оперативной информации.

Рассмотрение последовательности действий оператора – диспетчера по предотвращению и ликвидации аварий показано на рис. 4.

Как видно из рисунка ликвидации аварийного события ( $t_{\text{лас}}$ ) является суммой времен и определяется выражением (1):

$$t_{\text{лас}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad (1)$$

где  $t_1$  – время поступления информации диспетчеру о возникновении события (технологического нарушения);  $t_2$  – время, затраченное оператором – диспетчером для анализа поступившей информации;  $t_3$  – время, затраченное оператором – диспетчером для принятия решения (определения пути и способа) по ликвидации аварий;  $t_4$  – время, затраченное на отдачу команд и их исполнение.

Рассмотрим пути получения информации оперативно-диспетчерским персоналом о происходящих событиях в энергосистеме.

Информация может поступать по каналам теле-сигнализации (ТС) и телеизмерения (ТИ) на диспетчерский щит или в оперативно-информационный комплекс (ОИК) достаточно достоверна и задержками по времени можно пренебречь из-за их незначительности.

Время получения информации от оперативных дежурных объектов, а также от для оперативно – выездных бригад (ОВБ), через несколько уровней диспетчерского управления, неизмеримо больше.

Кроме того, передача информации по телефону увеличивает вероятность поступления ложной информации или ее искажение.

Отсюда вывод – для значительного сокращения времени ликвидации аварии необходимо принимать решения о путях ее ликвидации на основании анализа информации полученной по ТИ, ТС и данных ОИК.

При этом необходимо убедиться хватает ли этой информации для принятия правильного решения. Если не хватает, то достаточно адресно запросить недостающую информацию необходимую для принятия правильного решения.

### ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

П.Ф. Буданов, Р.М. Мезенцев, О.В. Панін, О.М. Рихлін

*Проведений аналіз існуючих технічних і програмних засобів навчання оперативно-диспетчерського персоналу електричних станцій, розглянуті вимоги до їх характеристикам, на основі системного підходу до питань технічної реалізації автоматизації реальних енергооб'єктів і обліку тимчасового критерію був запропонований варіант побудови інформаційно-алгоритмічної структури моделі – тренажера, який дозволяє прослідкувати і імітувати проходження інформаційних потоків від нижніх до верхніх рівнів, таким чином, збільшується кількість штатних і нештатних ситуацій, при яких необхідно ухвалювати оперативне рішення в режимі реального часу.*

**Ключові слова:** модель тренажера, алгоритм моделі, оператор – диспетчер, інформаційно-алгоритмічна структура, критерій часу для ухвалення рішення.

### ANALYSIS AND WAYS OF IMPROVEMENT OF METHOD OF PREPARATION OF OPERATIVE PERSONNEL FOR PROVIDING OF ELECTRIC STATIONS SAFETY

P.F. Budanov, R.N. Mezentsev, A.V. Panin, A.N. Rykhlin

*The analysis of existent technical and programmatic facilities of teaching of operatively-controller's personnel of the electric stations is conducted, requirements are considered to to and to their descriptions, on the basis of approach of the systems to the questions of technical realization of automation of the real energy object and account of temporal criterion the variant of construction of informatively-algorithmic structure of model was offered – trainer which allows to trace and imitate passing informative streams from lower to the top levels, thus, the amount of regular and nonpermanent situations at which it is necessary to make operative decision in the real-time mode is multiplied.*

**Keywords:** model of trainer, model algorithm, an operator is a controller, informatively-algorithmic structure, criterion of time for a decision-making.

### Выводы

1. Предложенный вариант информационно-алгоритмической структуры модели – тренажёра позволяет проследить и имитировать прохождение информационных потоков от нижних к верхним уровням, при этом возрастает сложность и увеличивается доля не полностью формализованных алгоритмов, а значит увеличивается количество штатных и нештатных ситуаций при которых необходимо принимать оперативное решение в режиме реального времени.

2. Для сокращения времени для принятия решения ОДП ЭС по управлению объектом ЭС при ликвидации аварий в модели – тренажёре необходимо разработать алгоритм анализа и принятия решения по данным о времени ликвидации аварийного события по каналам телесигнализации и телеизмерения.

### Список литературы

1. Данилов О.Б. Анализ ошибочных действий оперативного персонала в период ремонтной кампании 2003 г. (май-ноябрь) / О.Б. Данилов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2004. – № 2. – С. 40-42.

2. Магид С.И. Основные проблемы разработки современных программных средств для тренажёрной подготовки оперативного персонала электроэнергетики РФ / С.И. Магид, Е.Н. Архипова, В.И. Беляев // Энергосбережение и водоподготовка. – 2007. – № 2. – С. 54.

3. Магид С.И. Проблемы современного энергетического тренажёростроения через призму терминологии / С.И. Магид, И.Ш. Загретдинов, С.В. Мищеряков // Энергоснабжение и водоподготовка. – 2007. – № 1. – С. 43.

Поступила в редколлегию 16.05.2011

**Рецензент:** канд. техн. наук, доцент В.Ф. Краснощёков, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.