

Издается с января 2001 г.

Главный редактор  
журнала

канд. техн. наук  
**СЕРГЕЕВ С. А.**

Заместитель  
главного редактора

канд. техн. наук  
**БИРЮЛИН В. И.**

Члены редакционной  
коллегии

**АВЕРБУХ М. А.**  
**АРТЮХОВ И. И.**  
**ГАШИМОВ А. М.**  
**ЕМЕЛЬЯНОВ С. Г.**  
**ЕРОШЕНКО Г. П.**  
**ЗЮЗИН А. В.**  
**КОБЕЛЕН Н. С.**  
**КРИВОВ Ю. Н.**  
**КУВШИНОВ Г. Е.**  
**ЛУПИКОВ В. С.**  
**МИЛЫХ В. И.**  
**ОРАЛОВ П. С.**  
**ПЕРЕДЕЛЬСКИЙ Г. И.**  
**ПОДЧУКАЕВ В. А.**  
**СЕРЕБРОВСКИЙ В. И.**  
**СИВЯКОВ Б. К.**  
**СМОЛЕНЦЕВ Н. И.**  
**СМОЛОВИК С. В.**  
**СОШИНОВ А. Г.**  
**ТИМОШЕНКО А. В.**  
**ТУРОВ В. Е.**  
**ФИЛОНОВИЧ А. В.**  
**ХАРЕЧКО Ю. В.**

Ответственный  
секретарь

**ГОРЛОВ А. Н.**

За достоверность информации  
и рекламы ответственность несут  
авторы и рекламодатели.

При использовании материалов  
журнала (в любой форме) ссылка на  
журнал "Электрика" обязательна.

Адрес редакции:

107076, Москва,  
Стромынский пер., 4  
Тел: (499) 269-4996  
Факс: (499) 269-5297

E-mail:

elektrika-jurnal@yandex.ru  
admin@nait.ru  
sokol@nait.ru  
www.nait.ru

© ООО "Наука и технологии", 2012

## ВНИМАНИЕ!

Уважаемый читатель, Вы получили номер журнала с голограммой на первой стороне обложки. Это означает, что этот экземпляр журнала является оригинальным, выпущенным научно-техническим издательством ООО "Наука и технологии". Если голограмма отсутствует, экземпляр журнала — контрафактный. В этом случае убедительная просьба сообщить в издательство, в какой фирме был приобретен этот экземпляр журнала, по телефону (495) 223-09-10, факсу (499) 164-47-74 или e-mail: market@nait.ru.

Благодарим за сотрудничество.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ХОЗЯЙСТВО: ПРОБЛЕМЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ

*Ермоленко П.С.* Краткосрочное прогнозирование расхода электрической энергии нефтедобывающего производства. Часть 2. . . . . 2  
*Алябьев В.Н., Бирюлин В.И., Гайдаш Н.М., Хорошилов Н.В., Ларин О.М., Горлов А.Н.* Качество электроэнергии при регулировании напряжения на светодиодных светильниках. . . . . 8

### НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

*Бирюлин В.И., Хорошилов Н.В., Ларин О.М., Алябьев В.Н., Горлов А.Н., Любомир Ванков Димитров.* Проблемы и перспективы использования возобновляемых источников энергии для выработки энергии . . . . . 11

### ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

*Харечко Ю.В.* Об исправлении ошибок в требованиях стандарта МЭК 60364-4-44 к системе ТТ переменного тока с несколькими источниками питания. . . . . 22

### НОВОЕ: ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ

*Хошмухамедов И.М., Косарева-Володько О.В.* Выбор скоростных режимов работы главных электроприводов экскаватора-драглайна. . . . . 26  
*Киреев К.В.* Анализ устойчивости электродуговой системы постоянного тока с шунтированной дугой . . . . . 27

### ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИКИ

*Милых В.И., Полякова Н.В.* Основы численного анализа фазовых соотношений электромагнитных величин в турбогенераторе. . . . . 31

### МЕНЕДЖМЕНТ ЭЛЕКТРИКИ

*Воропаева О.Д.* Налоговый учет расходов на технологическое присоединение . 34

### ГОТОВИМ СПЕЦИАЛИСТОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ

*Кузьмин В.В., Шевченко В.В.* Роль человеческого фактора в обеспечении надежности работы АЭС в Украине . . . . . 38  
*Симаков А.Н., Яткин Д.В.* Дистанционно-интегрированный учебно-методический комплекс общепрофессиональных дисциплин — основа адаптивно-функциональной среды учебного интернет-ресурса . . . . . 43

# Роль человеческого фактора в обеспечении надежности работы АЭС в Украине

В. В. Кузьмин, доктор техн. наук, профессор

УИПА, г. Харьков, Украина

В. В. Шевченко, канд. техн. наук, доцент

НТУ «ХПИ», г. Харьков, Украина

## Введение

**Д**ля многих стран атомная энергетика остается основополагающей. Средние показатели по мировым энергосистемам следующие: электростанции, которые работают на нефти, — 38%, на природном газе — 20%, на угле — 27%, что составляет 85% от общей выработки электроэнергии. Остальные 15% приходятся на АЭС и на электростанции, работающие от возобновляемых источников энергии. Общая установленная мощность электрогенераторов Украины по различным источникам оценивается в 52900 МВт (по данным украинских статистических управлений) или в 48000 МВт (по данным Европейского Банка Реконструкции и Развития). Общая мощность 15 существующих энергетических блоков на 4 АЭС Украины составляет 13800 МВт [1]. Они вырабатывают половину электроэнергии в Украине.

С учетом трагических событий в Японии, произошедших весной 2011 г., все мировое сообщество рассматривает вопрос о целесообразности строительства АЭС с позиции их надежности и безопасности. И все-таки стратегия развития атомной энергетике Украины, России, Китая и других стран в первой половине XXI века предусматривает существенный рост доли АЭС в балансе их электроэнергетики с увеличением производства электроэнергии на них к 2020 г. более чем в 2 раза. Анализ литературных источников [2, 3] позволяет сделать вывод, что указанная задача будет решаться поэтапно, путем повышения единичной мощности установленного оборудования, продления срока службы АЭС первого поколения, достройки энергоблоков АЭС высокой степени готовности, а также путем создания и ввода в строй блоков АЭС нового поколения с высокими показателями уровня безопасности, экономичности и боль-

шей мощности устанавливаемых турбогенераторов.

Сегодня в Украине уже стоит вопрос не только о достаточной степени безопасности АЭС, но и о самой технической возможности их эксплуатации, так как установленное оборудование практически отработало свой расчетный ресурс. В настоящее время АЭС требуют безотлагательной и существенной модернизации. По инженерно-экономическим оценкам, модернизация одного энергоблока АЭС оценивается в 130 миллионов долларов. Начаты единичные работы по ремонту и модернизации отдельных блоков. Но это не решает проблем атомной энергетике в целом.

## Результаты исследований

В сентябре 2011 г. президент Украины В. Ф. Янукович на заседании по вопросам ядерной безопасности (66-я Сессия ООН, Нью-Йорк, США) начал свое выступление с того, что сообщил о присоединении Украины к инициативе проводить стресс-тесты (проверка на надежность в экстремальных условиях) на АЭС. Президент призвал создать в Украине международный центр по исследованию рисков использования ядерной энергии, учитывая, что в стране есть опыт ликвидации последствий аварий на пострадавших территориях, а также к совершенствованию механизмов обмена информацией и повышению стандартов безопасности Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) [4].

Безопасность атомной энергетике вновь оказалась в центре внимания мирового сообщества после того, как в результате разрушительного землетрясения в Японии 11.03.2011 г. и последовавшего за ним цунами на АЭС «Фукусима-1» была зафиксирована серия аварий, вызванных выходом из строя системы

охлаждения. На станции был выявлен ряд утечек радиоактивных веществ, что заставило власти эвакуировать людей из окрестностей станции. Позднее стала появляться информация об обнаружении в ряде районов Японии радиоактивных элементов, в частности изотопов йода и цезия, в воздухе, морской и питьевой воде, в продуктах. На эту ситуацию последовала следующая реакция:

1) Генсек ООН Пан Ги Муна отметил: «Укрепление ядерной безопасности требует также усиления возможностей соответствующих организаций. В частности, МАГАТЭ призвано сыграть в этом центральную роль. Также необходима организация защиты ядерных объектов от возможных «преднамеренных» атак».

2) Глава МАГАТЭ Юкия Аmano отмечает, что управляемые ими компании должны срочно повысить надежность ядерных объектов, что МАГАТЭ будет играть руководящую роль в усилении контроля по выполнению стандартов безопасности АЭС по всему миру. Руководство Евросоюза потребовало у компаний, эксплуатирующих ядерные объекты, провести стресс-тесты с имитацией серьезных природных катаклизмов.

3) Япония намерена добиться самого высокого в мире уровня надежности атомных электростанций с учетом последствий аварии на АЭС в Фукусиме, заявил японский премьер-министр Ёсихико Нода. Сделаны «первые шаги»: помимо принятых после аварии экстренных мер, в Японии уже работает план, по которому национальное управление по атомной энергетике выведено из подчинения министерства экономики, торговли и промышленности, чтобы избежать коммерциализации отрасли и сделать централизованным контроль ее безопасности с принятием экстренных мер. (Однако следует отметить, что параллельно Япония использует все свои передовые технологии для разработки возобновляемых источников энергии).

4) Во Франции на 58 блоках АЭС вырабатывается около 80% энергии. Поэтому вопросы безопасности требуют особого внимания. Французская энергетическая компания EDF, которая эксплуатирует французские АЭС, летом 2011 г. провела стресс-тесты на атомных электростанциях и по результатам удостоверялась в их надежности, что гарантирует их безопасность. В сентябре 2011 г. на интернет-сайте

Управления по ядерной безопасности Франции были опубликованы доклады об уровне безопасности 80 французских ядерных объектов после проверок, которые были проведены вслед за аварией на японской АЭС «Фукусима-1», на предприятиях EDF, ядерной корпорации Areva и других компаний. Компания EDF сообщила: «В том, что касается предупредительных мер по защите объектов от землетрясений и наводнений, нынешний уровень надежности представляет достаточный запас». При этом компания предлагает предпринять дополнительные меры безопасности, чтобы избежать японского сценария: установить автономные насосы, чтобы защитить источник охлаждения, поставить электрогенераторы для питания каждого предприятия и создать «Ядерные силы быстрого реагирования» 24-часовой готовности.

5) Между тем после аварии на «Фукусиме» Германия и Швейцария готовятся закрыть свои АЭС, несколько других стран отказываются от строительства новых реакторов, но стараются растянуть срок службы уже существующих.

6) В то же время Россия решила продлить до 45 лет срок службы 11 атомных реакторов из поколения, к которому принадлежал 4-й энергоблок Чернобыльской АЭС. Ранее предполагалось, что эксплуатацию таких реакторов следует прекращать через 30 лет. Но сегодня 4 из 11 реакторов советской модели РБМК находятся менее чем в 50 км от Петербурга, еще 3 — около Смоленска, остальные 4 — в окрестностях Курска и продолжают эксплуатироваться, так как не только производят электроэнергию, но и обеспечивают паровое отопление в Санкт-Петербурге, Курске и Смоленске.

В реакторах РБМК не предусмотрена железобетонная защитная камера, которая в случае аварии могла бы сдержать выбросы радиации. В Чернобыле из-за отсутствия защитной камеры зона радиационного заражения распространилась на сотни километров. Правда, в литературных источниках указывается, что стареющие реакторы подверглись модификации и теперь отвечают международным нормам безопасности. В разных странах установлены разные нормы продления срока эксплуатации АЭС. Например, в США продлен срок эксплуатации двух третей установленных реакторов, первоначально составлявший 40 лет, еще на 20 лет. Но эксперты единодушны в том, что срок экс-

плуатации можно продлевать только в том случае, если реактор удачно сконструирован и правильно обслуживается.

К первоочередным задачам настоящего этапа повышения надежности АЭС Украины следует отнести вопросы внедрения современной программы диагностики, реабилитации и реконструкции действующего электрооборудования (ЭО) с целью продления его срока службы на основании проведения исследований его состояния в соответствии с требованиями мировых стандартов. В частности, необходимо создание программы оценки состояния ЭО, которое уже выработало свой производственный ресурс или находится на грани его полной выработки. Существующая в настоящее время политика ремонта отказавших элементов давно устарела и, с учетом значительного износа ЭО электростанций Украины, нерентабельна и не может быть использована в дальнейшем [5]. Борьба за контроль над энергетическим рынком Украины имеет целый набор национальных особенностей, отражающихся на инвестиционном климате отрасли в целом. Одна из основных проблем — непредсказуемая политика регулирующих органов.

В Украине оценка безопасности ядерных технологий для АЭС является основным вопросом, так как последствия Чернобыльской аварии до сих пор являются определяющими в формировании отношения к вопросу оценки возможности использования энергии атома для получения электроэнергии. Необходимо внедрение современных методов оценки надежности, обеспечения надежности технических систем. Перспективна оценка с помощью математизации анализа безопасности на основе теории вероятности, в том числе вероятностного анализа безопасности (ВАБ). В него входят:

- анализ аварийных последовательностей и разработка «деревьев» событий;
- анализ системы и разработка «деревьев» отказов;
- формирование базы данных;
- оценка надежности систем с учетом отказов по общей причине;
- разработка интегральной модели риска энергоблока и т.п.;
- анализ ошибок персонала.

В сообществе технологически развитых стран действуют Международные стандарты

ISO 9000, которые направлены на построение системы качества, где может быть описана деятельность, связанная с проектированием, разработкой, производством и эксплуатацией объектов. Качество техники определяет ее надежность и безопасность. Но безопасность любого объекта прежде всего определяется управляющим им человеком.

Рекомендации ISO и ВАБ являются основой для организации технического обслуживания и ремонта систем и оборудования АЭС, т.е. управления ресурсами АЭС, как для продления срока их службы, так и для снижения стоимости электроэнергии. В структуре МАГАТЭ предусмотрена техническая рабочая группа по управлению ресурсами атомных станций, которая занимается исследованием механизмов старения ЭО, а также обслуживанием, оценкой экономических аспектов и человеческого фактора в подходе к управлению ресурсами. Основными задачами деятельности этой группы в определении безопасности АЭС является выработка современных технологий оптимизации технического обслуживания, ремонта ЭО АЭС. Большая роль в их работе отводится «человеческому фактору».

«Человеческий фактор» важен на всех этапах создания АЭС с точки зрения обеспечения безопасности: при проектировании, изготовлении, испытаниях, — но наиболее важен он на этапе эксплуатации.

Во-первых, если ошибка допущена конструктором, то на последующих стадиях (на стадии ОКР, технологических проработок, создания и испытаний) такие ошибки устраняются. Но если ошибка проявилась на этапе эксплуатации, то человек остается один на один с проблемой, к которой добавляются проблемы «старения» оборудования. Невозможно устранить при эксплуатации ошибки технолога, неправильно выбранные материалы, ошибки в расчетах, которые проявились в процессе эксплуатации. С ними надо жить, работать, обеспечивать нормальную, надежную работу оборудования. Максимум, что специалисты могут сделать, — это во время планово-предупредительных ремонтов (ППР) проводить дополнительные работы, испытания, ремонты, внедрять инновации с целью уменьшения интервалов между ППР.

Но здесь появляется вторая проблема, экономическая. При эксплуатации оборудования желательно иметь высокие экономические показатели, например коэффициент использования установленной мощности, сокращение ремонтных материалов, т.е. желательно увеличивать сроки между ППР, может быть, даже в ущерб безопасности.

Третья причина заключается в том, что основной обслуживающий персонал — мужчины, у которых ради экономической выгоды может быть снижено чувство самосохранения, возможно развитие своеобразной «смелости», потеря границы допустимого риска, что может привести к авариям типа Чернобыльской катастрофы.

Таким образом, считать, что на этапе эксплуатации, обслуживания систем и оборудования АЭС понимание персоналом требований безопасности и отсутствия риска преждевременно. Этот процесс должен быть управляемым, подкрепленным не только и не столько ВАБ, сколько качеством ментальности «человеческого фактора». В этой связи в технологии обслуживания и ремонта, разрабатываемой МАГАТЭ, особое внимание стало уделяться идентификации результатов ВАБ и суждений персонала АЭС о качестве и состоянии систем и оборудования, о критических узлах в них. Персонал должен ясно представлять себе пределы своих допустимых действий.

Осознание опасности и необходимость постоянного непредвзятого анализа состояния и качества обслуживаемых систем и оборудования, процесс управления «человеческим фактором» и его качеством, который может предотвратить отказы, аварии и катастрофы в технике, — залог безопасной эксплуатации.

Проблема контроля или наблюдения за человеком определяется тем, что человек, включенный в работу системы управления, является одним из звеньев общего контура такой системы. Это означает, что эффективность и надежность целеустремленного функционирования любой системы управления при участии человека зависят от того, насколько безошибочно в конкретных сформированных условиях он сможет выполнять возложенные на него функции оператора. При этом необходимо знать допустимую длительность обеспечения оператором достаточно надежного управления, динамику надежности в процессе функциональной дея-

тельности, условия среды, приводящие к снижению безопасности. Таким образом, управляемость, наблюдение, надежность и стойкость в эксплуатации представляют целостную структуру вопросов, в которых звено «человек» является наиболее уязвимым.

Обеспечение надежности функционирования человека-оператора остается центральной проблемой инженерной психологии, и все в большей мере ее решения приводят к осуществлению наблюдений за состоянием человека не по среднестатистическим нормам оценки, а по индивидуальной норме, установкам зоны функционального оптимума, в пределах которой обеспечивается безаварийная работа. Активное решение этой проблемы началось в 70-х годах XX столетия, однако поныне остается открытым ряд вопросов: оценка индивидуальной склонности к пребыванию в условиях профессионального влияния, степень готовности человека к профессиональной деятельности, оценка достаточной работоспособности и степени готовности к выполнению работы в конкретно сформированных условиях.

Естественный путь решения этих вопросов привел к развитию высокоточных психофизиологических методов контроля над работой разных функциональных систем организма. Однако увеличение числа контролируемых функций не позволило решить проблему и не дало окончательных результатов по наблюдению за состоянием человека, более того, существенно осложнило его деятельность из-за использования большого числа датчиков и тестов.

Одним из наиболее перспективных направлений в решении этой проблемы является разработка теории индивидуальной нормы в оценке состояния человека. Поэтому действующее состояние человека должно определяться не по общепринятым среднестатистическим критериям, а по установлению степени удаленности от них индивидуальной нормы.

Согласно современным представлениям, в формировании ментальности человека, т.е. в формировании умения грамотно оценивать ситуацию на всех этапах обслуживания оборудования АЭС, основную роль играют сформировавшиеся у персонала приоритеты. Для грамотной оценки проблемной ситуации, осознания связей между происходящими событиями необходимо учитывать информацион-

ные способности человеческого мозга, которые не безграничны.

Для оценки приоритетов существуют различные методы, например метод анализа иерархий [6]. Обслуживающий персонал какого-нибудь конкретного оборудования на АЭС сам составляет перечень критических элементов, которые, по его мнению, в первую очередь определяют безопасность работы этого оборудования. Делают это они, используя свой опыт, знания, даже интуицию. То есть они сами устанавливают приоритеты этих элементов. Их суждения используют как ответы на структурно организованный набор вопросов, каждый из которых логически связан с основной задачей (оптимизацией и совершенствованием системы обслуживания). Они трансформируются алгебраическими преобразованиями в количественные показатели согласованности и уверенности. И если эти значения попадают в определенный интервал, то считают, что этот человек компетентен и готов к управлению и обслуживанию рассматриваемого оборудования.

Затем выставленные приоритеты критических элементов сравниваются с подобными характеристиками в ВАБ и официальных документах АЭС. Если максимальные погрешности между этими величинами не больше допустимого значения, зависящего только от числа выделенных критических элементов, то можно утверждать, что результаты ВАБ «верифицированы», а «человеческий фактор» осознает качество элементов и готов управлять процессом повышения качества их обслуживания. То есть модельные представления ВАБ совпадают с пониманием проблемы безопасности персоналом. Согласно этой модели, «управляемый размер» выделенных критических элементов в какой-либо системе АЭС может меняться в пределах 5—9 событий.

1. Подобный мониторинг ментальности «человеческого фактора», использующий описанный выше алгоритм, является существенным в повышении эффективности технического обслуживания любых технологических систем, а следовательно, и в обеспечении их надежности. Необходимо только понимать границы возможного применения этого критерия, т.е. что при разработке современных технологий технического обслуживания и ремонта оборудования АЭС желательно использовать систем-

ный подход и вероятностные методы. Но нельзя забывать о реальных возможностях, необходимо постоянно анализировать несоответствия реальных результатов и модельных предложений, которые накопились за последние годы в атомной энергетике, постоянно искать новые решения. Однако такой критический подход к общепринятым приемам ВАБ как основному направлению развития надежности технических систем встречает достаточно сильное противостояние. Возможны обвинения в некомпетентности, непонимании теории вероятности, отсталости и так далее. Поэтому может оказаться, что сами требования к обоснованию безопасности и надежности систем АЭС становятся избыточными.

### Выводы

Оценка факторов, влияющих на надежность работы электрооборудования АЭС, должна вестись в системном контексте. Системность отличается от прочих всеобщих свойств вещей тем, что она выражает интегральные свойства явлений и их множества. Одним из определяющих элементов этой системы является учет и совершенствование «человеческого фактора». Современный этап развития системного подхода связан с пониманием недостаточности использования математического аппарата и необходимости привлечения неформальных суждений человека.

2. Большое значение в обеспечении работы персонала имеет существующая система его профессиональной подготовки. Согласно статистическим данным, аварийные остановки блоков АЭС в 30% случаев происходят из-за ошибок персонала.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевченко В. В. Проблемы и основные направления развития электроэнергетики в Украине // Энергетика та електрифікація. 2007. № 7 (287). С. 11—16.
2. Шевченко В. В. Энергосбережение в энергосистемах: анализ, проблемы, перспективы // Вісник КДПУ ім. М. Остроградського, вип. 3/2009 (56), частина I. С. 161—166.
3. Кузьмин В. В. Энергетика Украины в третьем тысячелетии — пути преодоления кризиса и задачи научных исследований // Региональный европейский форум WEC «Киев-2000», доклады. Киев, 2000. С. 135—140.
4. Янукович В. За создание в Украине Международного центра по исследованию техногенных рисков. itunes, Европа, Новости. Окружающая среда. 22.09.2011.
5. Демешко Б. Ю., Ницулия М. С. Статистика ускоренных испытаний и ее применение в теории надежности, технике и медицине // Научная сессия НИЯУ МИФИ — 2011. Том I. С. 225.
6. Сааги Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993.